الطبعة الثانية

ناتالي أنجير

المبادئ

جولة نطوف فيها حول الأسس الجميلة للعلم

ترجمة

د. مصطفى إبراهيم فهمي

المبادئ
جولة نطوف فيها حول الأسس الجميلة للعلم

ناتالي أنجير

The Canon
A Whirligig Tour of the Beautiful Basics of Science

Natalie Angier

الطبعة الثانية ١٤٣٢هـ-٢٠١١م
رقم إيداع ٢٠٠٩/٣٥٧٦
جميع الحقوق محفوظة للناشر كلمة وكلمات عربية للترجمة والنشر
(شركة ذات مسئولية محدودة)

كلمة
إن هيئة أبو ظبي للثقافة والتراث (كلمة) غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه
ص.ب. ٢٣٨٠ أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة
هاتف: ٩٧١ ٢ ٦٣١٤٤٦٨+ **فاكس:** ٩٧١ ٢ ٦٣١٤٤٦٢+
الموقع على شبكة الإنترنت: www.kalima.ae
البريد الإليكتروني: info@kalima.ae

كلمات عربية للترجمة والنشر
إن كلمات عربية للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه
ص.ب. ٥٠، مدينة نصر ١١٧٦٨، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٠٢ ٢٢٧٢٧٤٣١+ **فاكس:** ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥١+
البريد الإليكتروني: kalimatarabia@kalimatarabia.com
الموقع الإليكتروني: http://www.kalimatarabia.com

أنجير، ناتالي
المبادئ: جولة نطوف فيها حول الأسس الجميلة للعلم / ناتالي أنجير . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠٠٩
٤٥٨ص، ١٤,٥×٢١,٠سم
تدمك: ٩ ٢٣ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
١- العلم
أ- العنوان
٥٠٠

يمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إليكترونية أو ميكانيكية، ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أية وسيلة نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2009-2011 by Kalima and Kalimat Arabia
The Canon: A Whirligig Tour of the Beautiful Basics of Science.
Copyright © 2007 by Natalie Angier.
Published by special arrangement with Houghton Mifflin Harcourt publishing company.
All Rights Reserved.

المحتويات

مقدمة	٧
١- التفكير علميًّا	٣٥
٢- الاحتمالات	٧٩
٣- المعايرة	١١٩
٤- الفيزياء	١٤٥
٥- الكيمياء	١٩٩
٦- البيولوجيا التطورية	٢٤١
٧- البيولوجيا الجزيئية	٣٠١
٨- الجيولوجيا	٣٤٩
٩- علم الفلك	٣٨٧
المراجــــــــع	٤٣٥
شكر	٤٥٥

مقدمة

سيسيفوس يغني مع ينج[1]

لشقيقتي طفلان، بلغ الطفل الثاني منهما سن الثالثة عشرة، وهكذا قررت شقيقتي أنه قد حان الوقت في النهاية إلى إنهاء عضويتهما للتردد على مكانين مألوفين لارتيادهما عائلياً: متحف العلوم وحديقة الحيوان. هذه كما قالت لي أماكن لصغار الأطفال. ابنا شقيقتي الآن لهما ميول أكثر نضجًا. فهما يحبان وسائل الترفيه الأكثر رقيًّا ونقاوة وصقلًا — متاحف الفن، والمسرح، والباليه. أليس هذا شيئًا له أهميته؟ يزداد طول جسمي طفلي شقيقتي، وكذلك تزداد أيضًا رحابة وسعة اهتماماتهما. فهما يستطيعان الجلوس لأربع ساعات في عرض مسرحي «لماكبث» دون أن يتململا في مقعديهما. لم يعودا بعد يتنقلان من معرض علمي إلى آخر حيث ألعاب ممارسة العلم باليد، ودفع الكرات بجنون لتنحدر في أزيز بين العوالق والأهداف، أو الدق على مقابض لصنع زلازل اصطناعية، أو تحريك التروس لإدراك قوانين نيوتن عن الحركة، أو أي مما يشبه ذلك؛ وعلى أي حال فمن ذا الذي يهتم

---

[1] سيسفيوس في الأساطير الإغريقية كان ملكًا لكورينثا ثم حُكم عليه بأن يدحرج بلا انقطاع صخرة ضخمة إلى أعلى تل، وعندما تصل إلى القمة تنحدر ثانية إلى سفح التل، بما يرمز للعمل الشاق بلا نهاية. ينج فريق غناء صيني.

بقراءة بطاقات الشرح؟ ثم أماه، تعالي إلي يا أمي، يبدو أن هذا الشيء قد توقف عن العمل! لا مزيد من تقليد الغوريلا أو الجدال حول أساس بنية الفراء الأبيض للدب القطبي، أو التساؤل عن اللعاب السائل الذي يتجمع كلحية صغيرة عجيبة فوق ذقن الجمل الوحيد السنام. وتتنهد: كم يطير الزمن سريعًا بخفين مجنحين أطرافهما الأنيقة تتجه دائمًا إلى الأمام في ثبات لا يتحول. يالكثرة ما يشيع من هذه الطقوس في الطبقة المتوسطة للمرور إلى مرحلة البلوغ: من قرود المنجابي[٢] إلى فن موديلياني،[٣] من الملك التيرانصور إلى الملك أوديب.

هناك تمايز في الصوتيات يحكي لنا القصة. حدائق الحيوان ومتاحف العلم والتاريخ الطبيعي تكون الأصوات فيها مرتفعة ومفعمة بالحيوية وثرية إلى حد ملحوظ بأعلى النبرات على مقياس السمع. أما المسارح ومتاحف الفن فتهمس بصوت باريتون[٤] لطيف، وإذا حدث ورن هاتفك الخلوي (المحمول) بحماقة أثناء أحد العروض وصدر عنه جرس بلحن صغير لبيتهوفن، وكذلك بوجه خاص إذا بلغت بك الهمجية أن تجيب على المكالمة، فإن الآخرين من جمهور النظارة قد تعلموا كلهم أن يخنقوا صوتك بالتلويح بإعلانات المسرح الملفوفة. تقدير العلم شأن يخص الصغار، والقلقين، الذين يتعاطون دواء الريتالين.[٥] العلم هو التعليمات الخاصة للاستمتاع بينما تكون غددك التناسلية لا تزال مشغولة بالنضوج، واليوم الذي يحدث فيه أن يشدك معرض في باريس لماتيس «مقابل» بيكاسو[٦] شدًّا أعظم من شد فيلم سينمائي في قبة التجسيم Omnimax يدور عن العناكب؛ لهو يوم بدء الاحتفال بمخك. هأنذا! هيا الحق بي! ولا تنسَ بروست Proust معك!

---

[٢] المنجابي نوع من قرود في غرب أفريقيا بجفون بيضاء. (المترجم)

[٣] (موديلياني، أميديو (١٨٨٤–١٩٢٠م) رسام ونحات إيطالي. (المترجم)

[٤] (الباريتون نوع من صوت الرجال في غناء الأوبرا (جهير أول). (المترجم)

[٥] الريتالين دواء يُعطى للأطفال الذين يعانون من فرط النشاط. (المترجم)

[٦] ماتيس، هنري (١٨٦٩–١٩٥٤م) رسام ونحات فرنسي، بيكاسو، بابلو (١٨٨١–١٩٧٣م) رسام ونحات إسباني من أشهر فناني القرن العشرين وأكثرهم إنتاجًا. (المترجم)

من الطبيعي تمامًا أن أستغل هذه المناسبة من بوح شقيقتي لي بإسقاط عضوية ابنيها، لأوبخها عن ذلك. ما هذا الذي تقولين، تتخلين عن العلم لمجرد أن صغيريك بلغا سن الحلُم؟ أتقولين إن هذه هي النهاية لتعليمهما عن الطبيعة؟ هل يعرفان كل ما يحتاجان إلى معرفته عن الكون، والخلية، والذرة، والكهرومغناطيسية، والجيوديسي،[٧] وثلاثيات الفصوص،[٨] والكروموسومات، وبندول فوكو،[٩] وهي أمور قال لي ذات مرة عالم مثل ستيفن جاي جولد[١٠] إنه وجد صعوبة في فهمها؟ وماذا عن تلك الخدع الوهمية البصرية العابثة الماكرة التي تجعلك ترين إما إناء زهر أو وجهين جانبيين، ولكنك لا ترين أبدًا بأي حال الوجهين مع إناء الزهر، مهما ركزت بشدة أو أرخيت النظر بعينيك أو زدت النظر بحدة أو حدقت بنصف إغماضة كما كان يفعل الممثل المشهور همفري بوجارت، أو أصدرت أمرًا لمجال إدراكك الحسي ليكف عن أسلوب التسلسل القديم وليتعلم بدلًا من ذلك أسلوب أداء العديد من المهام معًا؟ هل الصغيران على استعداد حقًّا لأن يهملا هذه التحديات الجمالية والألغاز العظيمة؟ إني لأسألك: هل أنت مستعد لذلك؟

تصاعد صوتي إلى نبرة صارخة كما يحدث عندما أحس أني على حق، وقد تعودت شقيقتي على ذلك وأجابت بهزة كتفها المعتادة وهي تلجأ للحس المشترك. قالت إن تكاليف العضوية غالية، وإن صغيريها يدرسان الكثير من العلم في المدرسة، وإن أحدهما يتحدث عن رغبته في أن يكون عالم بيولوجيا بحرية. أما عن احتياجاتها هي الخاصة فهناك دائمًا شبكة بي بي إس. ولماذا آخذ الأمر على نحو شخصي هكذا؟

---

[٧] الجيوديسي: في الهندسة أقصر خط بين نقطتين على سطح معين، أو هو علم شكل الأرض ومساحتها على مقياس كبير، أو المسح مع عمل حساب لانحناء الأرض. (المترجم)

[٨] ثلاثيات الفصوص: حيوانات مفصلية بائدة كانت موجودة بكثرة في حقب الحياة القديمة. (المترجم)

[٩] بندول فوكو: بندول بالغ الطول ينتهي بكرة حديدية استخدمه العالم الفرنسي فوكو لإثبات حركة دورات الأرض، وذلك برصد التغير المطرد في مستوى ذبذبته. (المترجم)

[١٠] ستيفن جاي جولد: عالم بيولوجيا أمريكي مشهور توفي مؤخرًا منذ سنوات قليلة وله آراء حديثة في نظرية التطور، كما اشتهر ككاتب ثقافة علمية لغير المتخصصين. (المترجم)

قلت في دمدمة، لأني واعية. لو سنحت لي الفرصة فسأعتبر خطر عادم النفاثات أمرًا شخصيًّا.

على الرغم من موقفي العدواني، فإنني لم أستطع أن أعيب على شقيقتي قرارها بأن تقطع أحد الروابط القليلة التي تصلها بذلك المجال من الشئون البشرية الذي يسمى العلم. فمهما كان متحف أوريجون للعلوم والصناعة متحفًا ممتازًا فإنه بلا ريب موجه إلى زوار سنهم صغير بما يكفي لأن يقدروا عروضًا مثل عروض «العلم الفاضح»[١١] Grossology التي انتشرت انتشار شديدًا، وهي عروض لجولات في العالم الغريب المضحك لسوائل الجسد ووظائفه.

مرحلة الطفولة إذن هي الوقت الوحيد من الحياة حيث نتوقع من كل أعضاء فئة معينة من العمر أن يقدّروا العلم. ما إن تبدأ مرحلة المدرسة الإعدادية، حتى تبدأ أيضًا مرحلة الغربلة الكبرى، مرحلة نتف الريش والفرو بلا رحمة، مع المتعة، الضحك الصاخب من أعماق جوفنا، حتى أصبح العلم المنطقة الوعرة لكهنوت صغير — وإن كان له زي بائس. يفسح الاستمتاع بالعلم الفاضح الطريق لرهبة فادحة. في بلدنا هذا يتجه عدد محبي العلم ممن بلغوا الحلُم إلى التناقص، كما أنهم يُكنَون بأسماء بليدة مضجرة: فهم غريبو الأطوار، أغبياء، متعالمون، مدببو الرءوس، أمخاخ تسيء استخدام العلم، فئران معامل، الصيغة الحديثة لمرضى «متلازمة أسبرجر» المتوحدين، ثم اللعنة، لماذا لا نكنيهم «بالمتلصصين» (يضعون أقلامهم في حافظة خاصة توضع في الجيب) أو «عديمي القيمة» (شريط لاصق على نظارة) أو «الفاشلين» (آخر من يتم اختيارهم في كل لعبة رياضية)؟ من الناحية الأخرى فإن المراهقين من غير محبي العلم يُعرفون بأنهم مراهقون إلا فيما بينهم، فهم بصرف النظر عن جنسهم كذكور أو إناث يستخدمون بصفة عامة فيما بينهم مصطلح «فتيان» — كأن يقولوا «أنتم أيها الفتية»، أو «هيا يا فتية»، أو «هيا أنتم يا فتية» وهم عند قولهم «أنتم أيها الفتية»

[١١] العلم الفاضح هو ما يتناول وظائف وإفرازات جسدية كريهة كالإخراج وإفراز العرق. (المترجم)

لا يجدون مشقة في أن يميزوا أنفسهم عن أولئك الغريبي الأطوار، المتعالمين من حاملي كئوس المعامل؛ وإذا ظهرت أي تساؤلات فسوف يسارع المراهق إلى تأكيد كيانه (أو كيانها) بصفته فتى دون أي لبس، وهذا أمر تعلمته وأنا أسير مؤخرًا خلف فتاتين بدا أنهما في عمر يقترب من السادسة عشر.

سألت الفتاة (أ) الفتاة (ب) عن عمل أمها.

آه، إنها تعمل في بيثيسدا في معهد «مقص»، هكذا أجابت (ب) وهي تختصر كلمات «المعهد القومي للصحة» مشيرة إليها بأنها «مقص». وواصلت القول: «إنها عالمة».

قالت الفتاة (أ) «هاه». وانتظرتُ أن تضيف كلمات أخرى مثل «رائع، هذا رهيب!» أو «حلو!» أو «ممتاز!» أو حتى «لحم بتلو بالمكرونة!»، أو ربما تسأل عن نوع العلم الذي تدرسه هذه الأم الخارقة للمعتاد، بدلًا من ذلك قالت الفتاة (أ) بعد لحظة أو لحظتين من الصمت: «أنا أكره العلم».

«نعم، حسن، أنت لا تستطيعين اختيار والديك»، هكذا قالت الفتاة (ب) وهي تهز شعرها البني الباهت هزة سريعة في ازدراء. «على أي حال، ماذا ستفعلون (أيها الفتية) في هذه العطلة الأسبوعية؟ »هكذا خاطبت صاحبتها وكأنها جمع من الفتيان.

مع نمو الشباب إلى النضج، يزداد طول وسُمك الحاجز بين المتلائمين والخارجين على المجتمع، ويبدأ نمو الأشواك. سرعان ما يبدو أنه جدار غير قابل للاختراق. عندما أخبرني مصفف شعري بأنه يخطط لزيارة بورتوريكو، التي كنت فيها في الصيف السابق، أوصيته بأن يزور تليسكوب آرسيبو الذي يعمل بالراديو ويقع في الجانب الشمالي الغربي من الجزيرة، وعندها نظر إليّ وكأنني اقترحت عليه أن يتوقف عند مصنع لمواد تنظيف الغسيل. وسألني: «ولماذا بحق السماء تكون لي أي رغبة لأن أفعل «ذلك»؟

قلت له: «لأنه واحد من أكبر التليسكوبات في العالم، وزيارته مفتوحة للجماهير، وهو جميل ويخلب اللب ويبدو وكأنه طبق حلوى ضخم بمرآة، يستقر في جانب جرف منذ ستينيات القرن العشرين؟»

«هاه»، قالها وهو يقص من جبهتي خصلة كبيرة إلى حدٍّ ما.

«ولأنه ملحق به متحف علوم عظيم، وسوف تتعلم الكثير عن الكون؟»

وقال: «لست واحدًا من ذلك النوع من مهاوويس التكنولوجيا، كما تعرفين.» وأخذ يقص ويقص ويقص.

«ولأنه ظهر في فيلم «اتصال» الذي مثلت فيه جودي فوستر؟» هكذا قلت ثائرة وأنا أتلمس على غير هدى طريقًا يصلني به.

لم يكن في الإمكان إسكات معارضته الصلبة الضارية، وقال: «لم أكن أبدًا من المعجبين بجودي فوستر. ولكني سأعتبر الأمر من باب النصيحة.»

عندما عدت إلى المنزل صاح زوجي: «مرحبًا يا حبيبتي! أين صففت شعرك؟»

الحقيقة أني خرجت من ذلك بأني كنت على صواب طول الوقت. وكيف لا يكون الأمر كذلك. أنا كاتبة علمية. ظللت كذلك لعقود من السنين، طيلة حياتي المهنية، أنا أقر بذلك: أنا أحب العلم. لقد بدأت أحبه من طفولتي، أثناء رحلاتي إلى المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي، ثم حدث مؤقتًا أن وضعت هذا الحب في غير موضعه عندما التحقت بمدرسة ثانوية صغيرة جدًّا في نيو بافلو بميتشيجان حيث كانت المدرسة في أشد الحاجة إلى المال حتى إنهم توقعوا من شخص واحد أن يدرّس البيولوجيا، والكيمياء، والتاريخ، وذلك قبل أن يهرع إلى عمله الحقيقي كمدرب لكرة القدم. مع كل هذا الإرهاق الفائق لم يفقد الرجل قط حسه بالفكاهة. ذات صباح وأنا أقترب من مكتبه لأقدم له مشروعي في البيولوجيا، وفيه مجموعة من حوالي عشرين حشرة مثبتة بالدبابيس في لوح ورق مقوى، لاحظت أن فرس النبي، وخنفساء الجعل، وفراشة الصقر لم تكن قد ماتت تمامًا، وإنما هي في الحقيقة تتلوى يائسة على خوازيقها، فصرخت بسيل متصل من بذاءات البنات وأسقطت اللوح كله على الأرض. ابتسم مدرسي لي ابتسامة عريضة وقد برزت عيناه في مرح، وقال إنه لا يكاد يستطيع «الانتظار» حتى يحين الوقت المناسب لي لتشريح خنزير وليد.

وأنا في الكلية أعدت اكتشاف حبي الملتهب القديم للعلم، كان لا يزال مشتعلًا كما يشتعل موقد «بنزن» المعملي بلهب أزرق. درست مقررات

علمية كثيرة، حتى وأنا أواصل اعتبار نفسي أساسًا كاتبة علمية، وحتى عندما كان زملائي من الكتاب العلميين يتعجبون من اهتمامي بكل هذه الفيزياء، والتفاضل والتكامل، والحواسيب، وعلم الفلك، والباليونتولوجيا.[١٢] وكنت أتعجب أنا نفسي، ذلك أني كنت بالكاد أحس بأني طبيعية في المعمل. أخذت أدرس، وانهمكت فيما يفيد، وفيما لا طائل له، اقتلعت شعري وأنا أشده، ولكني ثابرت على حب العلم.

قال لي صديق: حسن، أليس فيك شيء من سي. بي. سنو هوايت[١٣] هو وكتابه «الثقافتان»، ماذا ترينه مهمًّا بأي حال في كل هذه التجارب الثقافية الهجين؟»

أجبت: «لست أدري. أنا أحب العلم وأثق فيه. إنه يجعلني أحس بالتفاؤل. إنه يضفي على حياتي رعشة فيها حيوية.»

سألني لماذا لا أكتفي بأن أغدو عالمة. قلت له إني لا أريد أن أفسد علاقتي الجميلة مع العلم بالزواج منه. هذا إلى جانب أني لن أكون عالمة جيدة جدًّا، وأنا أعرف ذلك.

فقال وإذن ستكونين محترفة لهواية العلم!

ما يقرب من ذلك. صرت كاتبة علمية.

إذن هأنذا أصل إلى صميم الموضوع، أو الجزء الثري بلحمه، أو لعله من الغضاريف، أو عظم الترقوة، أو الجلد والذيل؟ ظللت أعمل ككاتبة علمية لربع القرن، وأنا أحب العلم، ولكني أيضًا تعلمت وتعلمت ولم أنس، وإن كنت قد أُجبرت على أن أعيد تعلمي عن مدى عدم التكامل والاندماج بين العلم وباقي الشئون الإنسانية، ومدى استمرار انفصاله عن العالم انفصالًا عنيدًا، وكيف تستمر بإصرار صورة أفراد تلك الأقلية من غير المتلائمين مع المجتمع، وفكرة أن تقدير العلم يقل مع نمونا جميعًا إلى درجة تفوق أن نهتم به، إلا عند من ينمو مخهم إلى درجة فائقة، وفي هذا مفارقة غريبة.

---

[١٢] الباليونتولوجيا: علم دراسة أشكال الحياة في العصور الجيولوجية السابقة. (المترجم)

[١٣] سي. بي. سنو هوايت عالم إنجليزي، أول من نبه في خمسينيات القرن العشرين إلى الانفصام بين الثقافة الإنسانية والعلمية ووجوب الدمج بينهما، وذلك في كتابه «ثقافتان». (المترجم)

هناك كلمات سمعتها كثيرًا على مر السنين كلما ذكرت لأحدهم عملي الذي أعيش عليه: «الكتابة العلمية؟ فأسمع من يقول لي، أنا لم أتابع أي قراءة علمية منذ رسبت في الكيمياء في المدرسة الثانوية.» (أو في كلمات أخرى مشابهة «... منذ أن رسبت في الفيزياء في المدرسة الثانوية.») تعمل جاكلين بارتون أستاذة للكيمياء في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وقد سمعت هي أيضًا هذه الكلمات، وعبّرت ساخرة عن مدى تسليتها برؤية هذا العدد المذهل من الناس الذين حسب روايتهم هم شخصيًّا كانوا مجرد طلبة متواضعين في دراستهم للكيمياء، بل كانوا أيضًا فاشلين فشلًا فاضحًا. حتى السنوات التي تزداد فيها التقديرات لا تستطيع أن تزحزح تقدير «ضعيف» باعتباره التقدير النمطي لوعي الأمة بمادة الكيمياء.

ظلت الكتابة العلمية تعد أيضًا نوعًا من الجيتو[١٤] الأدبي أو الصحفي، له وضع منعزل، إما فيزيقيًّا كما هو في القسم العلمي الأسبوعي من صحيفة «نيويورك تايمز»، وإما فعليًا كما يحدث بتجاهله في معظم الأماكن، ومعظم الأوقات، بصرف النظر عن مدى ارتفاع مستوى الثقافة. مجلة الإنترنت «هاربر» تتجاهله، وكذلك «أتلانتيك»، بل وكذلك «النيويوركر»، كما تتجاهله المجلات الإلكترونية الراقية مثل «صالون» رغم الطبيعة المتعالمة لمتفرجيها. رأيت أبحاث مسح للقراء تبين أنه من بين كل الأقسام الأسبوعية المستقلة في صحيفة «النيويورك تايمز»، فإن أكثرها جماهيرية هو «علوم التايمز» الذي يصدر في أيام الثلاثاء. ولكني أعرف أيضًا، كما أخبرني أصدقاء وأقارب طيبو القلب أن أناسًا كثيرون يهملون هذا القسم بوضوح وصراحة ولا يقلّبون صفحاته. بل إن بعض هؤلاء الرافضين رفضًا مسبقًا يعملون في صحيفة «النيويورك تايمز». منذ سنوات عديدة كانت هناك امرأة تعمل رئيسة تحرير للصفحة العلمية في الصحيفة وطلبت من الرجل الذي كان وقتها رئيس تحرير الصحيفة كلها، أن يتكرم متفضلًا بأن يقول لهيئة المحررين العلميين بعض كلمات التقدير لكل عملهم الممتاز، وأرسل لهم

---

[١٤] الجيتو: حي منعزل للأقليات، وكان يطلق عادة على أحياء اليهود في مدن أوروبا. (المترجم)

رئيس التحرير مذكرة تؤكد لهيئة المحررين مدى تشوقه لصدور مجلة تحمل اسم «ساينس تايمز» ... كل أربعاء. عندما بدأت الكتابة للصحيفة، وقدمت نفسي إلى كاتب الأعمدة ويليام سافير باعتباري كاتبة تحقيقات علمية، قال لي: «وإذن فمن المرجح أني سأقرأ لك أيام الخميس، أليس كذلك؟» قال لي هارولد فارموس الفائز بجائزة نوبل إنني كان ينبغي أن أجيبه قائلة: «أكيد يا بيل، ما دمت تقرأ الصحيفة بعد صدورها بثمان وأربعين ساعة.»

آه، هذا مؤذ! وكيف يمكن ألا يكون مؤذيًا؟ ليس هناك من يود أن يشعر بأنه غير مهم أو هامشي. لا أحد يريد أن يشعر بالفشل، إلا إذا كنت في فصل كيمياء بمدرسة ثانوية، وفي هذه الحالة سوف يشعر الجميع بذلك. على أني سأعترف بشيء. أحس دائمًا بفشلي في كل مرة أسمع عندها من يقول: «ومن يهمه ذلك، أو من الذي يعرفه، أو أنا فحسب لا أدركه.» في سلسلة أفلام ثرية بصورها من أفلام مكتب الصندوق المنزلي HBO، عنوانها «ستة أقدام لأسفل»، تعلن إحدى الشخصيات أنها تخطط لدراسة «الوراثيات البيولوجية» ويقول لها حبيبها، «ياللملل. لماذا بحق السماء تفعلين ذلك؟» عندما أقرأ ذلك أحس بأنها إهانة شخصية لي. مهلًا دقيقة! ألم يسمع هذا الفتى بأننا نعيش في «العصر الذهبي للبيولوجيا». هل يجد أن أثينا بركليز[15] مملة أيضًا؟ أنهى حماي قراءة شيء كتبته عن الجينات وخلايا السرطان وقال لي عندها إنه وجد أنه يخلب العقل ولكنه سألني بعدها: «أيهما أكبر، الجين أم الخلية؟» وأفكر وأقول أواه، حقًّا قد فشلت. إذا كنت لم أوضح الحقيقة البيولوجية الأساسية التي تقول إن الخلايا وإن كانت بلا ريب صغيرة جدًّا فإن كل خلية كبيرة بما يكفي لأن تحوي المجموعة الكاملة من جيناتنا التي يصل عددها إلى ٢٥٠٠٠ من الجينات أو ما يقرب — كما تحوي أيضًا حزمًا وافرة من سلسلة تتابعات وراثية تتلازم معًا، لا تزال وظيفتها غير معروفة — إذا كنت لم أوضح ذلك فما هي فائدتي؟ كتبت

[15] عهد بركليز العهد الذهبي لأثينا الإغريقية. (المترجم)

يومًا قصة عن علم الوراثة في الحيتان، وعندما راجعها محرر النسخ طلب مني أن أثبت ما طرحته في نصي عن أن: (أ) الحيتان من الثدييات، و(ب) أن الثدييات حيوانات. وأفكر وأقول أواه، ولكنها هذه المرة بكتابة ببنط ٢٦ العريض الذي يعبر عن الفزع. واهًا واهًا، لا أحد يعرف أي شيء عن العلم. واهًا واهًا، لا أحد يهتم بأن يعرف شيئًا عنه.

هل أبدو وكأني أرثي لنفسي، كأنين على شيء اشتهاه المرء ولم يدركه فتحول إلى صرخة دفاعية؟ لا شك في أن الهجوم الجيد يبدأ بالدفاع عن الذات. إذا كنت سأؤلف كتابًا عن أساسيات العلم، يجب أن أومن بأن هناك حاجة إلى هذا الكتاب، وأنا أؤمن بذلك. وعندما أؤمن بأن هناك حاجة لكتاب تمهيدي، جولة بمرشد في أرجاء قوانين العلم؛ فإن من الواضح أنني لا بد وأن أؤمن بأن هناك عددًا ضخمًا من الأفراد في العالم يعانون من أن العلم لم يمهِّد لهم حقًّا، هناك براري شاسعة وأنهار عميقة من الجهل العلمي والأمية العلمية، ورهاب التكنولوجيا، وأعين عليها غشاوة، وحيتان يُلغى ما لها من حماية في مواطن تكاثرها. ما زال العلم يبدو في تصور المواطنين على أنه شيء ممل، وغريب، وصعب، وتجريدي ومن المريح أن يعد مكانه في الأطراف، ربما الآن بأكثر مما في أي وقت. أُجري مسح في ٢٠٠٥م على ٩٥٠ طالبًا بريطانيًّا عمرهم من الثالثة إلى السادسة عشرة، وكمثل لما في المسح، قال ٥١٪ منهم إنهم يرون أن فصول العلم «مملة» أو «مربكة» أو «صعبة» — وهي مشاعر تزداد شدة كلما كان الفصل أعلى في المدرسة الثانوية. هناك نسبة ٧ في المائة فقط يرون أن المشتغلين بالعلم «ممتازون»؛ وعندما طلب منهم اختيار أشهر عالم من قائمة من الأسماء تتضمن ألبرت أينشتين وإسحق نيوتن، اختار الكثير من أصحاب الإجابات كريستوفر كولومبس بدلًا منهما.

العلماء يبادرون بالاعتراف بمسئوليتهم عما يوجد من الخطأ ويقرون بأنهم يتحملون بعض المسئولية عن حساسية الجمهور تجاه مهنتهم، ويقولون لقد فشلنا. كنا فظيعين في توصيل أبحاثنا للجماهير، وكنا مثيرين للأسى عندما يصل الأمر إلى تعليم شباب أمتنا. ظللنا مشغولين جدًّا بأبحاثنا.

علينا أن ننشر أوراق بحث علمية. علينا أن نكتب اقتراحات للمنح. نحن ننال عقابنا من «النظام»، بذلك المسار الأكاديمي الذي لا يرحم والذي يكافئ العلماء ليركزوا على الأبحاث إلى حد استبعاد أي شأن آخر، بما في ذلك التدريس أو السعي إلى الجمهور أو تأليف الكتب الجماهيرية التي تتحول إلى أفلام خاصة. وإلى جانب ذلك لا يوجد إلا قلة قليلة جدًّا منا لهم براعة «بريان جرين» في كتاب «ملك الأوتار»، ألسنا كذلك؟ وكل هذا يعني اعترافًا بأننا مذنبون حسب الاتهام. نحن لم نقم بدورنا في تنوير جمهور غير المتخصصين.

هناك سؤال اعتراضي مقبول وهو «هل يلزم علينا فعل أي شيء؟ هل هناك ما يهم إذا كانت أغلبية الناس العظمى لا تعرف إلا القليل، أو لا تعرف شيئًا عن العلم وعقلية التفكير العلمي أو منحاه؟ إذا كان الرجال (أو النساء) العاديون لا يعرفون اسم أقرب نجم (الشمس)، أو لا يعرفون أن الطماطم لها جينات (وهي لها بالفعل)، أو لماذا لا يمكن لليد أن تمر عبر سطح المائدة (لأن الإلكترونات تتنافر في كل منهما مع الإلكترونات الأخرى)، إذا كانوا لا يعرفون هذا كله، فأي فارق مهم في ذلك؟» لندع المتخصصين يتخصصون. جرّاح القلب يعرف كيف يصلح أمر أحد الشرايين، والبيولوجي يعرف كيف يعالج الهلام، وقائد النفاثة يعرف كيف يضيء إشارة «اربطوا أحزمة المقاعد» عند اللحظة نفسها بالضبط التي تقرر فيها أن تنهض لتذهب إلى دورة المياه. لماذا لا يستطيع سائرنا الاكتفاء بالعناية بما يخصهم ويكتفون بتثبيت كوبونات التسويق والسعرات الحرارية في سلام.

هناك حشد من الحجج التي تدور حول إيجاد وعي علمي أعظم، وعلاقة أقوى بالتفكير والاستدلال العلمي، والكثير من هذه الحجج قد سِيقت مرارًا حتى أخذت تبدو مبتذلة. إحدى الأطروحات المفضلة هي أن الناس ينبغي أن يعرفوا المزيد عن العلم لأن الكثير من القضايا الحيوية حاليًّا فيها عنصر علمي: فكّر في: الاحترار الكوكبي، الطاقة البديلة، أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية، الدفاع بالقذائف الصاروخية، أوجه القصور المأساوية لصناعة التنظيف الجاف. ومن ثم، مع وجود مواطنين بثقافة علمية أرقى يكون من

المتوقع أنهم سيدلون بأصواتهم بحكمة أكثر نسبيًّا لانتخاب ساسة في حكمة سقراط. سوف يطالبون ممثليهم المنتخبين بأن يعرفوا أوجه الاختلاف بين كيس الأرومة،[16] والجنين، وخبير تقويم الأسنان. كيس الأرومة كرة مجوفة من الخلايا عمرها خمسة أيام يمكن أن نستخلص منها ما نشتهي من الخلايا الجذعية ويمكن نظريًّا تحفيزها لتتنامى إلى النسيج الجسدي أو العضو الجسدي الذي نختاره؛ والجنين هو الكائن المتنامي ما قبل الولادة الذي غرس في رحم الأم؛ أما خبير تقويم الأسنان فهو ما لا يغطيه أبدًا تأمينك الصحي.

يطرح آخرون أن الجمهور الفطن علميًّا ستتوفر له نسبيًّا الحماية من المعتقدات الخرافية، والتفكير بالتمني، والغش والخداع. سوف يدرك هذا الجمهور أن المقدمات المنطقية للتنجيم كلها سخيفة مضحكة، وأن الطبيب أو الداية أو سائق التاكسي الذي ساعد امرأة في الولادة قد بذل جهدًا في الشد لحظة الولادة أعظم كثيرًا من جهد الشمس، أو القمر، أو أي من الكواكب. سيدرك هذا الجمهور أن ورق البخت في حلوى المطعم الصيني مكتوب إما بالحاسوب أو بأجير جديد في مصنع «ونتون للطعام» بحى كوينز. سيحسب أفراد هذا الجمهور احتمالات الفوز باليانصيب، ويدركون كيف أنها ضئيلة إلى حد يثير السخرية، ويقررون التوقف عن شراء أوراق اليانصيب، وعندها سوف تنهار ميزانيات التعليم في ثلاثين ولاية على الأقل من بين ولاياتنا الخمسين. هذا الرقم الأخير هو بكل أسف ليس على سبيل المزاح، وهذا يطرح أنه لو تفشى فجأة وباء عام من التفكير المنطقي ليصيب أمتنا، فربما اضطر السياسيون إلى اللجوء إلى إجراءات أليمة للوصول إلى مصدر بديل للدخل غير ما تناله الولاية من يانصيبها ومما تمتلكه من ماكينات ألعاب القمار التي يضع فيها الناس نقودهم من خلال شقوق للعملة، وهذا البديل قد يتضمن ... ها ... ها ... ها! فرض الضرائب.

---

[16] كيس الأرومة مجموعة الخلايا التي تنقسم لها البويضة المخصبة خلال بضعة أيام. (المترجم)

تعمل لوسي جونز إخصائية في الزلازل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وهي تعرف تمامًا كيف يمكن أن يقاوم الناس العقل، وكيف أنهم قد يغوصون بسهولة في جحر أرنب بحثًا عن البديهيات المسلم بها، وعن نظريات المؤامرة، وعن تميمة قدم الأرنب. لوسي جونز امرأة ودودة تناهز الخمسين من عمرها، وشعرها قصير بلون خوخي، وخطواتها لها إيقاع رتيب، وتقوم بعمل «العالِم المسئول» في «هيئة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة» فيما يتعلق بكل كاليفورنيا الجنوبية، ولها بذلك الأهلية لتعزيز وسائل التأهب للزلازل. كما أن من مهامها القيام بدور كرة المران على الملاكمة بالنسبة للهيئة، لتتلقى أي لكمات موجهة من وسائل الإعلام، فتردّ باسم الهيئة على أوجه النزاع مع وسائل الإعلام، وتواجه الذعر الجماهيري كلما حدثت هزة كريهة من الزلازل بسبب اللوح القاري الذي تجثم عليه كاليفورنيا الجنوبية. وهي كأي أخصائي زلازل في كل مكان، تحاول أن تحسن من قدرات الجيولوجيين على التنبؤ بالزلازل الكبرى، واكتشاف الإشارات الإنذارية في الوقت المناسب لإخلاء المدن، أو غير ذلك من اتخاذ الخطوات لحماية الناس، ومحال إقامتهم، وحماية تلك المجموعة النفيسة من الكئوس الطويلة الزجاجية الباقية من السوق الدولي لسنة ١٩٦٤م. سمعت جونز أساطير عن الزلازل فيها ما يثير الحنق الشديد لسخافتها، مثل: أن السمك في الصين يستطيع أن يحس بالوقت الذي تأتي فيه رجفة أرضية، أو أن الزلازل لا تضرب ضربتها إلا مبكرًا في الصباح. وتقول جونز: «ينزع الناس إلى تذكر زلازل الصباح المبكر لأنها الزلازل التي توقظهم من نومهم وترعبهم أكثر. عندما تعرض عليهم البيانات التي تدل على حقيقة أن الزلزال يحتمل أن يقع في السادسة مساء بمثل احتمال وقوعه في السادسة صباحًا، فإنهم مع ذلك يصرون على أنه لا بد وأن يكون هناك عنصر من الحقيقة في قصة الزلزال المبكر لأن أمهاتهم وجداتهم والعم الكبير ميلتون قالوا كلهم دائمًا أنها قصة حقيقية. أو أنهم يعيدون تعريف «الصباح المبكر» لتعني أي وقت من منتصف الليل حتى تناول طعام الغذاء. وبحق السماء، هذا حقيقي: الكثير مما يحدث من الزلازل يقع بين الثانية عشرة صباحا والثانية عشرة مساء. فالعم ميلتون على صواب!»

يؤمن أفراد الجمهور أيضًا بأن أخصائيي الزلازل يستطيعون التنبؤ بالزلازل على نحو أفضل كثيرًا مما يدعون، ولكنهم على نحو مضلل يحتفظون بتكهانتهم لأنفسهم لأنهم لا يريدون «إثارة الذعر».

تقول جونز: «تلقيت خطابًا من امرأة تقول: «أعرف أنك لا تستطيعين إخباري عن متى سيقع الزلزال التالي، ولكنك سوف تخبرينني عن متى سيذهب أطفالك لزيارة أقاربهم خارج البلدة؟» إنها تفترض أني سأستخدم بهدوء معرفتي السرية لصالح عائلتي بينما أخفيها عن أي شخص آخر. يفضل الناس الاعتقاد بأن السلطات تكذب عليهم، وذلك بدلًا من تقبل عدم اليقين في العلم.» وتقول جونز إن أدنى حد من الدراسة العلمية سيجعل الناس يدركون أن كلمتي «العلم» و«عدم اليقين» جديرتان بالربط بينهما في القاموس، وأنها لو أرسلت أطفالها لزيارة الأقارب خارج البلدة فإن السبب الوحيد لذلك هو أن يزوروا هؤلاء الأقارب خارج البلدة.

يحاجّ الكثيرون من العلماء أيضًا بأن الجمهور غير المتخصص ينبغي أن يكون لأفراده فهم أفضل للعلم حتى يقدروا مدى أهمية المشروع العلمي لمستقبل أمتنا الاقتصادي، والثقافي، والطبي، والعسكري. وهم يقولون إن عالمنا يتحول تكنولوجيًّا وسريعًا إلى عالم محارب مثل بلاد أمازونيا،[١٧] موطن بيئي بلا رحمة في كل نصفي الكرة الأرضية، حيث توجد على أسس مألوفة مبادئ علمية وتكنولوجية قد يثبت سريعًا ضرورتها من أجل أن نبقى في الوجود اجتماعيًّا واقتصاديًّا. تقول لوسي جونز: «بعد الثورة الصناعية سرعان ما وصلنا في الغرب إلى نقطة غدت القراءة عندها عملية أساسية في التواصل البشري.» إذا كنت لا تستطيع القراءة، فلن نستطيع المساهمة في الحوار الإنساني العادي، ناهيك عن الحصول على عمل كريم.

وتواصل القول: «نحن الآن توًّا نمرُّ بتحول آخر في توقعاتنا، إذ إن مهارات الاستدلال العلمي واستيعاب العملية العلمية ستغدو أمورًا يحتاجها كل فرد.»

---

[١٧] أمازونيا في الأساطير الإغريقية مملكة من نساء محاربات. (المترجم)

ليس العلماء وحدهم في اقتناعهم بأن علو شأن أمريكا علميًّا هو أحد أعظم مصادر قوتنا. لقد منحنا العلم والهندسة الدائرة المتكاملة، والإنترنت، ومحبطات إنزيم «البروتييز»، وأدوية الستاتين التي تقلل الكولسترول، ومنتجات «بام» من مواد الرذاذ لطهي طعام وفطائر لا تلتصق (وهي مواد تفيد أيضًا للمفصلات التي لها صرير!) وطريقة «فلكرو» للتثبيت بشرائط نسيج تتشابك معًا بدلًا من الأزرار والسوستة، والفياجرا، والطلاء اللزج الذي يتوهج في الظلام، ومخطط لتطعيم الأطفال يمنع مرضهم بحيث لا يجد التلاميذ الكسالى أي حجة لعدم حضور الدراسة سوى أنهم يعانون من «صداع دائم بسبب هاري بوتر»، وهناك أدوات حاسوب تسمى بأسماء الفاكهة أو أسماء أجزاء من الفاكهة، ونظم تسليح متقدمة تسمى على أسماء حشرات المفصليات اللاسعة أو أسماء القبائل الأمريكية المحلية.

ومع ذلك فإن مستقبل علو شأننا علميًّا لا يعتمد كثيرًا على البراعة في العلم التطبيقي بقدر ما يعتمد على وجود الإرادة لدعم الأبحاث الأساسية، تلك الأبحاث الأكاديمية المحلقة التي قد تستغرق عقودًا من السنين حتى تثمر نتائج صالحة للنشر، وسلعًا صالحة للتسويق، وطلبة يتخرجون صالحين للتوظف. العلماء وأنصارهم المتحمسون يطرحون أنه عندما يكون أفراد الجمهور أكثر تمكنًا في أمور العلم الرهيفة، فإنهم سيدعمون بسعادة تخصيص زيادات سنوية سخية لميزانية العلم الفيدرالية؛ وكذلك لِمنح الأبحاث الطويلة المدى والمفتوحة بلا نهاية؛ والاستثمارات الكافية في البنية التحتية، وخاصة الاستثمار لما هو أفضل من أجهزة وجبات المعمل الخفيفة. سوف يدركون أن الباحثين الأساسيين الموجودين في يومنا يفيدون في توليد الازدهار في غدنا، ناهيك عن تفسير ألغاز الحياة والكون، وأننا لا نستطيع أن نضع بطاقة سعر للعبقرية وموهبة الاكتشاف، إلا لكي نقول إنهما أغلى كثيرًا مما يخصصه الكونجرس للعلم في السنة المالية الحالية.

نعم، هيا ندلل علماءنا اليوم، وهيا ننمي في وطننا الحالمين في الغد، الجيل التالي من العلماء. ذلك أننا عندما ننشئ جوًّا أكثر ودًّا للعلم، فإننا بلا ريب نشجع المزيد من الشباب لأن يتخذوا المهن العلمية، ونبقى هكذا

مهيأين للصراع مع البلاد الطموحة التي بدأت في الصعود والتي تفوقنا كثيرًا في عدد سكانها، الهند والصين. نحن في حاجة إلى المزيد من العلماء! وفي حاجة إلى المزيد من المهندسين! لكن ما يحدث هو أن عدد الطلبة الأمريكيين الذين يختارون دراسة العلم يقل ويقل على مر السنين. وجهت لجنة استشارية هي «الهيئة القومية للعلوم» تحذيرًا للكونجرس في ٢٠٠٤م تقول فيه: «لاحظنا انخفاضًا يثير القلق في عدد مواطني الولايات المتحدة الذين يدرسون ليكونوا علماء ومهندسين»، في حين أن عدد الوظائف التي تتطلب هذا النوع من التعليم قد تصاعد بشدة. وبالنسبة لهذه النقطة نجد أن نسبة الثلث أو أكثر من الدرجات الأرقى للعلم والهندسة التي تمنح كل سنة في الولايات المتحدة يفوز بها الطلبة الأجانب، وكذلك أيضًا أكثر من نصف مراكز الزمالة لما بعد الدكتوراه. وفي حين أنه ليس من خطأ في الجو العالمي الذي يسود في أي معهد علمي، فإن الطلبة الأجانب كثيرًا ما يفضلون العودة بخبرتهم وشهاداتهم إلى بلادهم التي تشعر تجاههم بالامتنان. تقول «هيئة العلوم»: «هذه الاتجاهات تهدد الرفاه الاقتصادي والأمن في بلادنا.»

من ذا الذي يستطيع أن يلوم الأمريكيين على الابتعاد عن العلم، في حين أنه مع كل ما يفترض من طلب السوق، تظل وظائف الأبحاث متدنية الأجر كل التدني؟ بعد أن يمر عليهم عقد أو أكثر في سنوات من الدراسات العليا، يمكن لزملاء ما بعد الدكتوراه أن يتوقعوا أن يدفع لهم فيما يحتمل ٤٠٠٠٠ دولار؛ بل حتى لاحقًا في مستقبلهم المهني، يبقى العلماء على نحو مستعصى في طبقة المرتب ذي الأرقام الخمسة. دافيد بالتيمور واحد من الحائزين على جائزة نوبل وهو الرئيس السابق لمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وقد أمضى الكثير من تاريخه المهني المبكر في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (معهد «ممت» اختصارًا). لاحظ دافيد بالتيمور أن أحد الأماكن الكلاسيكية لإعداد أرقى الطبقات، هي المدرسة الإعدادية بأكاديمية فيلبس في آندوفر بولاية ماساتشوستس، حيث تدرس ابنته، وفيها برنامج علمي ممتاز، يعد واحدًا من أفضل البرامج ويقول: «ولكنك لا ترى أبدًا أي خريج من أندوفر في

معهد «ممت»، فخريجو الاكاديمية الذين لديهم مهارات لها قدرها يذهبون للعمل كسماسرة بورصة. لا يوجد فيهم إلا قلة لعينة تقبل العمل كعلماء نبلاء.»

إذا تجاوزنا الأجور الأفضل، يحتاج العلماء أيضًا إلى مزيد من تقديرهم تقديرًا متميزًا. يصر أنصار العلم على أنه لو كان يُنظر إلى العلم على أنه أكثر جاذبية وإثارة وحيوية وابتكارًا مما يُرى عليه الآن، فإن ذلك قد يجذب مزيدًا من المشاركين فيه، ومزيدًا من العقول الشابة الذكية والأيدى الشابة الماهرة التي تكون على استعداد للعمل بأدوات المعمل لعشرين ساعة متصلة. أندي فاينبرج عالم وراثة في جامعة جون هوبكنز، وهو يقول: «كانت الأمور مختلفة عندما كنت أشب وأكبر. كان ذلك في زمن «سبوتنيك»[١٨] والسباق إلى الفضاء، والكل يلاحقون العلم. الكل يرونه مهمًا، ويرونه مثيرًا، ويرون أنه ممتاز. يجب علينا أن نعيد بطريقة ما إحياء هذه الروح. ثقافة الاكتشاف تدفع بلادنا قُدمًا، وليس لدينا القدرة على تحمل تكلفة ضياعها منا.»

هذه كلها حجج مهمة ومثيرة وحيوية لتعزيز وعي علمي أكبر. أود أن أرى المزيد من الشباب الأمريكي وقد صاروا علماء، وبوجه خاص الفتاة التي تحمل حمض «دنا» الخاص بي[١٩] وتمثل خصمًا في إقراري الضريبي. سأكون سعيدة أيضًا عندما أرى الناخبين في شهور نوفمبر[٢٠] القادمة وقد توصلوا إلى اختيار مرشحين أذكى وأكثر ثقافة مما فعلوا فيما مضى.

ولكن للأسف، كما يوضح ستيفن واينبرج الحائز على نوبل وأستاذ الفيزياء في جامعة تكساس، فإن الكثير من القضايا التي يفترض أنها علمية المنحى لا يمكن للعلم مطلقًا أن يتخذ القرار فيها. يقول واينبرج: «عندما يصل الأمر إلى شيء مثل الخلاف حول نظام دفاع صاروخي ضد القذائف الصاروخية، فإن أكثر ما يزعجني هو حقيقة أن زعماءنا فيما يبدو هم

---

[١٨] سبوتنيك أول قمر صناعي أطلقه الروس في حوالي منتصف القرن العشرين وسبقوا به الأمريكيين. (المترجم)

[١٩] دنا DNA اختصار حامض دي أوكسي ريبونيوكلييك. يوجد حامض دنا في نواة الخلية، فهو المكون الأساسي للجينات أو المورثات في النواة، ويورث من الأم والأب معًا. يوجد القليل من دنا في سيتوبلازم الخلية ويورث من الأم فقط ومن هنا تكون الأنثى أو الفتاة هي الوعاء الحاوي له. (المترجم)

[٢٠] شهر نوفمبر شهر انتخابات الرئيس في أمريكا كل ٤ سنوات. (المترجم)

من نوع الناس الذين لا يقرءون التاريخ ويزعجني ذلك أكثر من حقيقة أنهم لا يفهمون شيئًا عن ليزر أشعة إكس.» هل يستطيع العلم حقيقة أن يصدر القرار في قضية مثل التساؤل: هل ينبغي أن نستخلص الخلايا الجذعية من كيس الأرومة البشري؟ كل ما يستطيع العلم أن يقوله لك عن هذا الكيس هو أنه نعم، كيس بشري. وهو يحوي دنا داخله. لا يستطيع العلم أن يخبرك بمقدار الأهمية التي ينبغي إضفاؤها على كيس الأرومة هذا. لا يستطيع العلم أن يبت بالرأي في الخلاف حول «الحق» النسبي لكيس الأرومة في تكامله الخلوي وفي أن له هذا المستقبل غير المضمون — بأن يوضع في ثلاجة التجميد الشديد لاحتمال زرعه في رحم ترغب صاحبته في هذا في وقت لاحق؟ أو أن يلقى به في رحلة سريعة سعيدة في بالوعة الصرف بعيادة للخصوبة؟ — في مقابل «حق» مريض يعاني من عذاب مرض مثل التصلب التعددي أو مرض باركنسون[٢١] في أن يعرف أن العلماء قد تحرروا من القيود، ونجحوا في الحصول على تمويل فيدرالي لإمكانية الوصول للخلايا الجذعية وربما يستطيعون يومًا التوصل إلى علاجات جديدة للمرض. إنها قضية ترتبط بالضمير والسياسة والمعتقدات الدينية، وإذا فشل كل شيء لن يبقى لنا إلا تبادل توجيه اللعنات.

خلاصة الأمر، لست واثقة من أنك عندما تزيد معرفتك بالعلم ستتحول إلى مواطن أفضل، أو تفوز بوظيفة ممتعة، أو تتقي ما يحدث أحيانًا من فقدان للملكات العقلية ينتهي بك بأن تشتري للأسف بنطلون جلد أبيض. لست براجماتية النزعة، ولا أستطيع إقامة حجج عملية من نوع «لتأكل القنبيط كما تشاء ما دمت تنظف أسنانك بعدها جيدًا». عندما تكون بالغًا ومن غير العلماء، فلن يكون مرجحًا أبدًا أن تتحول إلى ممارسة العلم حتى ولو نتيجة لأشد أزمات منتصف العمر؛ وما لم تكن عالمًا، فإنك لن تكون «بحاجة» إلى أن تعرف شيئًا عن العلم. ولن تكون بحاجة أيضًا لأن تذهب إلى المتاحف أو لأن تستمع إلى باخ أو أن تقرأ قصيدة سوناتا لشكسبير

[٢١] مرض التصلب التعددي ومرض باركنسون أمراض خطيرة في الجهاز العصبي لا علاج لها. (المترجم)

حلوة بارعة. ولن تكون بحاجة إلى زيارة بلد أجنبي أو لأن تخيّم في أخدود صحراوي أو لأن تنطلق في ليلة بلا سحب وبلا قمر لتثمل بخمر النجوم. ولكن تُرى ما عدد الأصدقاء الذين تحتاج إليهم؟

بدلًا من أن تكون الحاجة إلى ذلك حسب اعتبارات المجتمع المدني، لماذا لا يكون ذلك بدافع شغف طبيعي؟ «فلا ريب» في أنك بحاجة لأن تكون ملمًا بالأمور العلمية بالقدر الذي تسمح به خلايا عقلك. العلم ليس مجرد شيء واحد، أو خط واحد من الاستدلال، أو مادة علمية يمكن احتواؤها في كتاب واحد مثل تاريخ الإمبراطورية العثمانية. العلم كيان ضخم، محيط عظيم من الخبرة البشرية، إنه نتاج المخ وسبب كونه أكثر تموجًا من مخ أي من الكائنات الأخرى التي أنجبها هذا الكوكب. فإذا لم تتعلم أبدًا السباحة، لا شك أنك ستندم على ذلك؛ البحر بالغ الكبر، ولن يتركك تنسى ذلك.

لا ريب في أنك ينبغي أن تكون لك معرفة بالعلم، لنفس السبب الذي ينصح به دكتور سيوس قراءه بأن يغنوا مع فريق ينج أو أن يلعبوا لعبة قذف الحلقات على هدف بارز. هذه أمور ممتعة، والمتعة أمر ممتاز.

هناك سبب قوي في أن متاحف العلوم ممتعة وأن الصغار يحبون العلم. العلم متعة فهو ليس مجرد صيحة جلا جلا — بص شوف الفرقعة «انظر كيف أغمس هذه الوردة في النيتروجين السائل ثم أنثر أجزاءها على الأرض»، مع أنه كذلك أيضًا. إنه متعة بالطريقة التي تكون بها الأفكار الثرية ممتعة، وبالطريقة التي تكون بها رؤية ما تحت السطح ممتعة. عندما نفهم كيف تجري الأمور بنجاح يتولد إحساس رائع. انظر لا غير — هذا كل ما ينبغي عليك.

دافيد بوتستين عالم وراثة في جامعة برينستون، وهو يقول: «كنت وأنا في الكلية في نزاع مع والدي، أرادني أن أكون طبيبًا، وأردت أن أكون عالمًا، أوضحت له كل الإيضاح أني لن أدخل كلية الطب، والحقيقة أني كنت بالفعل مشغولًا من قبل ببحث عن «دنا» يثير الاهتمام حقًّا. ذات مساء أخذ أحد رفاق أبي — وكان جراحًا عامًّا — يحقق معي حول ما أخطط للعمل فيه. كيف لأي شيء أن يكون أكثر إثارة للاهتمام من علم وظائف أعضاء

الإنسان، وتجبير العظام المكسورة معًا؟ كنا نشرب معًا بعض الشراب، وشرحت له ما يعنيه تركيب «دنا»، ودلالاته. كان هذا يرجع وراء إلى ما يقرب من ١٩٦٠م، وقت أن كان مجال البيولوجيا الجزيئية في أول بداية له. في نهاية حوارنا، رفع صديق أبي عينيه وقال: «أنت أكثر الفتيان حظًّا في العالم. سوف تنال أجرًا عن شيء تستمتع به.»

يعمل بيتر جاليسون أستاذًا لتاريخ الفيزياء في جامعة هارفارد، وهو يتعجب ساخرًا من أن أفراد الجمهور يتصورون تمامًا أن العلم يخلو بالكامل من أي بهجة، ويقول: «كان علينا أن نعمل حقًّا عملًا شاقًّا حتى نصل إلى إنجاز فذٍّ رائع كهذا، لأني لم التق أبدًا بأي طفل صغير إلا وهو يعتقد أن العلم ممتع حقًّا ومثير للاهتمام حقًّا. ولكني بعد سنوات من تأليف كتب دراسية مضجرة برسوم توضيحية رهيبة، وسنوات من عرض العلم كشفرة لا يمكن فكّ رموزها، ومن العمل على طلاق العلم من زواجه بالعمليات الإنسانية العادية التي تستخدمه يوميًّا؛ بعد هذا كله خمن ماذا: قد فعلناها، فقد أقنعنا عددًا كبيرًا من الناس بأن ذلك الشيء الذي كان ذات يوم مما يعتقدون أنه فاتن وممتع، وأكثر الأشياء طبيعية في العالم، إنما هو شيء أجنبي عن وجودهم.

من المسلم به أن كل العلماء الذين أجريت معهم لقاءات وصدقوا على ما في العلم من متعة ينالون جميعًا في أمان أجرًا وافرًا، وهم جميعًا ناجحون في مجالهم ولديهم أسباب شخصية قوية للاعتقاد بأن الكون مكان ساحر. إلا أني أعرف الكثيرين من الكتاب الناجحين جدًّا الذين ينظرون إلى أنفسهم، ليس باعتبار أنهم أكثر الفتيان حظًّا في العالم، وإنما باعتبار أنهم مصابون باللعنة والبؤس بسبب مهنتهم، لأنهم ليس لديهم خيار، وليس لديهم أي مهارات أخرى يمكن لهم تسويقها. قال توماس مان — كاتب الرواية والمقال — متشكيًا: «الكاتب فرد تكون الكتابة عنده أشد صعوبة مما عند الأفراد الآخرين.» «عندما أعود إلى بيتي للغذاء بعد أن أستمر في الكتابة طول النهار، تقول لي زوجتي إني أبدو وكأني عدت إلى البيت آتيًا توًّا من جنازة»، هكذا قال الفنان كارل هياسين، وهو كاتب روايات كوميدية. أما

الفنان دافيد سال فهو يئن لجانيت مالكولم بصحيفة «نيويوركر» شاكيًا من تعاسات الرسم قائلًا: «إنني أجد فيه صعوبة قصوى، أشعر وكأني أخبط رأسي في جدار حجري. أشعر وكأن الآخرين جميعًا قد اكتشفوا طريقة لأداء ذلك تتيح لهم أن ينطلقوا في رحلة فاتنة في الحياة لا جهد فيها، بينما يتعين عليّ أن أبقى في حجرتي الرهيبة هذه كالجحر وأنا أعاني.» العلماء بدورهم بالغو الذكاء والاندفاع — وعليك ألا تنخدع بتأثير من بنطلوناتهم القصيرة «الشورت» ومن قمصانهم من نوع «تي شيرت» — فهم يتنافسون إلى حد أن يأكل أحدهم لحم الآخر؛ وهم مع هذا كله يتفجرون بالكلام عن مدى حسن الحظ والمتعة الكبرى في العمل كعلماء، وعن أنهم ليسوا بالأنانيين، وأنهم مستعدون لأن يشاركهم الغير في جوقتهم.

يواصل جاليسون القول: «إذن، نعم، لقد فعلناها، دفعنا الصخرة إلى قمة التل وجعلنا الناس يحسبون أن العلم مضجر.» ولكن هناك ما يقال حول الصخرة وهي في هذا الوضع: إنها تحتفظ بالكثير من طاقة الوضع،[٢٢] وهي عمليًّا تلتمس أن تُزاح. كل ما يطلب هو دفعات قليلة في الموضع المناسب، والتآزر كتفًا بكتف بحماس من القلب، وعندها ربما تتحرر الصخرة تمامًا لتنطلق من رباطها غير الطبيعي، لتهوي متجهة إلى الأرض بدويّ نيوتوني.

هذا الكتاب محاولة صغيرة مني لدفع القضية قليلًا إلى الأمام، ولوكز الصخرة لإطلاق العنان لجمال العلم في حيويته ليبهرنا بنجاح كما يفعل.

لعل القارئ واحد ممن لم يعد لهم اتصال بالعلم منذ تلك السنة الرهيبة في المدرسة الثانوية التي رسب فيها في الفيزياء لأنه وصل إلى الامتحان النهائي متأخرًا ساعة، وقد ارتدى منامته، وحمل مجموعة من الحشرات. أو ربما يكون قد نفّذ الشروط العلمية لكليته بأن درس مقررات مثل «علم النفس التطوري للمواعدة عبر الإنترنت»، وهو يأسف لأنه ما زال لا يستطيع

---

[٢٢] طاقة الوضع في الفيزياء هي الطاقة الكامنة للشغل التي يكتسبها الجسم من وضعه في السكون بدلًا من الحركة. (المترجم)

التفرقة بين البروتون والفوتون والشخص الغبي. أو ربما يكون القارئ يشعر بالفضول للمعرفة ولكنه لا يعرف كيف يبدأ. وربما يعتقد أن البداية قد تكون موضعًا معقولًا، ولكن بداية من؟ ليس بداية الطفل الصغير، وليس بداية هز الإصبع تلك الهزات المزدرية أو المربكة أو التعليمية، وإنما هي البداية كبالغ راشد. البداية كعلاقة بين ندين متساويين أنت والعلم. وقبل أن ترفع يديك مدافعًا وتصيح: هذه ليست منافسة عادلة، أنا ضد العلم! قبل أن تفعل ذلك دعني أقل لك: إن الأمر ليس أنت «ضد» العلم، ولكن أنت «مع» العلم، أنت دافع الضرائب الذي يدعم العلم سواء أدرك ذلك أم لم يدركه، أنت الشخص الذي يستخدم العلم لأكثر كثيرًا مما تظن، في كل مرة تحاول فيها مثلًا التركيز على مشكلة تتعلق بالمكنسة الكهربائية — هل هذه الماكينة تسخن؛ الماكينة تتوقف عن الاستمرار في العمل، كتلة شعر لعينة، على أي حال متى كانت آخر مرة غيرت فيها كيس هذا الشيء؟ أو حين تدرك أنك عندما لا تقلّب الصلصة الهولندية باستمرار عند درجة حرارة مرتفعة ولكنها دون الغليان، فسوف تنتهي إلى أن يكون عندك كتلة متماسكة لا يمكن أن تصبها فوق الطعام. أنت هكذا تؤدي العلم، وتدعم العلم، أنت تخبز كعكته، ولعلك أيضًا تلحس ملعقته.

هذه البداية هي البداية كما يراها العلماء، أو هي على الأقل ما اتفقوا على رؤيته، وسبب ذلك أن محققة صحفية قد ظهرت لهم عند أبواب مكاتبهم وغاصت بنفسها في مقعد وطلبت منهم أن ينظروا أمر القليل من الأسئلة الأساسية جدًّا. طالما علا صوت العلماء كالصهيل وهم يتشكون من الأمية العلمية الشديدة وندرة التفكير النقدي والحاجة إلى مواطنين أرقى علميًّا. وهم على حق إلى حد بعيد. ولكن ما الذي يتطلبه الأمر حتى نخلص الناس من هذا الحال الرهيب، هذا الوباء من الأمية الجماهيرية، ونجعل في مكانه توهجًا صحيًّا من المعرفة الواسعة؟ ما الذي يحتاج الشخص من غير العلماء، لأن يعرفه عن العلم ويتأهل لأن يكون متأقلمًا مع العلم. السيد «عارف» هذا عليه أن يكون قادرًا على ذكر ستة من الأشياء التي نود أن يفهمها كل واحد عن مجاله، ستة مفاهيم للقوانين الأساسية الكبيرة الجسورة التي

حتى في يومنا هذا لا تزال تطرحك أرضًا بجمالها، ترى ما هي؟ أو إذا كنت من ذلك النوع من الأساتذة الذين ما زالوا أحيانًا يدرّسون مقررات للطلبة ذوي القشرة الرقيقة الذين يسمون بطلبة «المقررات غير الرئيسية»، سيغدو سؤالنا عندها: ما هي الأفكار الأساسية التي تأمل أن يستخلصها طلبتك من المحاضرة التمهيدية، بل تأمل حتى أن يظلوا يحتفظون بها بعد الامتحان النهائي لزمن يزيد عن القليل من فمتو الثواني؟ ماذا يعني التفكير العلمي. ما الذي يتطلبه الأمر لشخص من غير العلماء حتى يثير إعجابك في حفل كوكتيل، ويوقظ في نفسك الإحساس بأن هذا الشخص ليس مهرجًا؟

عند مواجهة العلماء بالسؤال عن «ماذا تود أن يعرفه الناس عن العلم؟» يشعر الكثيرون منهم بأنهم مجبرون على الحديث عن الحاجة الملحة لتحسين التعليم في المدرسة الابتدائية والثانوية، وهذا هدف نبيل وضروري وجدير بأن يُحث عليه في كل الفرص الممكنة، ولكن لا يوجد إلا القليل من البالغين الذين لديهم رفاهية التعليم في مدارس للتعليم المتكامل الذي يتضمن المواد العلمية وكذلك أيضًا المواد الإنسانية والفنية في كل المراحل من رياض الأطفال حتى نهاية الثانوية. فيما يتعلق بمراجعي المقررات ذوي النوايا الطيبة، أود أن أعبر لهم عن اتفاقي الأكيد معهم، ولكني ألتمس منهم الرأفة بالمرحلة ما بعد البيداجوجية (التربوية). لا شك أنه حتى أضعف الراشدين تربويًّا لن تكون حالته مما يتجاوز الأمل؟ هيا نركز على هؤلاء: ما الذي ينبغي أن يعرفه عن العلم من ليسوا متخصصين ولا أطفال، وكيف ينبغي أن يعرفوا ذلك، وما هو هذا الشيء الذي نقول عنه إنه ممتع؟

أدركت أن مصطلح «العلم» فيه بعض لبس يحتاج إلى توضيح، وهو لبس قد ينتج عما يضاف له من كلمات تحوير مثل «الاجتماعي» أو «الهش» وذلك حتى يضم إليه الأنثروبولوجيا، وعلم الاجتماع، وعلم النفس، والاقتصاد، والسياسة والجغرافيا، أو حتى التمائم الصينية التي تجلب الثروة والحظ، وهكذا قررت أن أركز على تلك العلوم التي تسبقها بوجه عامة الصفة «صعبة». وهذه العلوم هي علوم الفيزياء والحياة، وهي بفئاتها الأوسع تتضمن: الفيزياء، والكيمياء، والبيولوجيا، والجيولوجيا، وعلم الفلك. هذه

هي المواضيع التي ينحو الناس إلى أن يعتبروا أنها العلوم الأكثر ترويعًا وإبهامًا ولها أسوأ مكاتب لخدمة العملاء. وهي في الوقت نفسه المجالات التي حدث فيها أعظم تقدم، حيث كانت اكتشافاتها في القرن الماضي الاكتشافات الأروع والأكثر إبهاجًا، وعلى الرغم من أن مصطلح «الثوري» صار رثًّا باليًّا إلا أنه ما زال ينطبق بحق على التقدم في هذه المجالات. سبر العلماء تجاويف الذرة الغامضة، وقرءوا ذاكرة الكون لما يرجع إلى الوراء بالفعل إلى لحظة الذروة في تكوينه، وفكو التشابكات المعقدة في دنا، ورسموا خريطة وتركيب الكرة المضطربة كاللعبة البلاستيكية اللدنة التي نسميها بأنها قلعتنا ووطننا. هذه هي حكايات الجن عن العلم، حكايات هي كما أوضح أحد العلماء: «تصادف أنها حقيقية.» إنها علوم صلبة بمثل صلابة الماس والياقوت: أنشئت لتبقى، وهي بلا ريب تبدو رائعة في النور.

أثناء قيامى بهذه الأبحاث، أجريت لقاءات وجمعت آراء نافذة البصيرة لمئات من العلماء، وكثيرًا ما كان ذلك على نحو شخصي، وأحيانًا بالهاتف والبريد الإلكتروني، وهؤلاء العلماء يعملون في الكثير من جامعات ومعاهد القمة في أمتنا. تحدثت إلى حائزين على جائزة نوبل، وأعضاء في الأكاديمية القومية للعلوم، ورؤساء للجامعات، ومديرين للمعاهد، وحائزين على منح وجوائز مؤسسة «عباقرة ماك أرثر». كما سعيت أيضًا إلى باحثين يعرف عنهم أنهم مدرسون رائعون ممن فازوا بتقدير جامعتهم باعتبار الواحد منهم «الأستاذ الأكثر جدارة بالإعجاب في هذا العام»، أو الذين ورد اسمهم في مواقع «ويب» للطلبة بإعتبار أنهم بلغوا مرتبة استثنائية في الوضوح والإلهام بالفكر والعطاء، أو يوصفون بالكلمة القديمة التي لا تزال يوثق بها، كلمة «الروعة». كانت بعض الأحاديث صعبة صعوبة بالغة أو يكثر ما فيها من استطرادات غير مترابطة، أحاديث جعلتني أشعر وكأني طبيبة أسنان من العهد الفيكتوري — تستخدم كماشات كثيرة للأسنان بدون بنج غاز النيتروز — على أنه حتى هذا النوع من الأحاديث أثمر جوهرة أو اثنتين. تحدث العلماء عن الحاجة إلى احتضان العالم كما نجده، وليس كما نريد

أن يكون عليه. وصفوا الجزيئات الأثيرة عندهم. وألقوا بالفكاهات، مثل تلك التي قيلت عن الفيزيائي ويرنر هايزنبرج الذي يقول مبدأه المشهور عن «عدم اليقين» إننا نستطيع أن نعرف فقط موضع أحد الإلكترونات وهو يدور حول القلب النووي للذرة، أو نستطيع أن نعرف فقط سرعته، ولكننا لا نستطيع أن نعرف الاثنين معًا في الوقت نفسه. تقول الفكاهة بظرف: «رتب لهايزنبرج موعد لإلقاء محاضرة في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا «ممت» ولكنه تأخر، وأخذ يقود سيارته المستأجرة في أنحاء كمبردج بسرعة. استوقفه شرطي وقال له: ألديك فكرة عن مدى السرعة التي تنطلق بها؟»

ويجيب هايزنبرج بذكاء: «لا، ولكني أعرف أين أكون!»

«والآن، لو أنك حكيت هذه الفكاهة في حفل كوكتيل، سيبتعد الناس عنك»، هكذا قال مايكل روبنر عالِم المواد في معهد «ممت»: «ولكنك لو حكيتها أمام خمسمائة ممن بلغوا سن الثامنة عشرة في معهد «ممت» سيضجون مقهقهين.»

كذلك كنت أدفع العلماء إلى ما يتجاوز مجرد إبداء ردود الفعل في إجابات كالدروس، وذلك حتى أجعلهم بقدر الإمكان يفسرون ما الذي يعنونه بالضبط ببعض المصطلحات التي كثيرًا ما تُستخدم كتعريفات تمهيدية. من المرجح أن القارئ قد سمع مثلًا وصف الذرّة، كما يفترض في رياض الأطفال، بأنها تتكون من ثلاث فئات مختلفة من الجسيمات: البروتونات، والنيوترونات التي تقبع مثل الشمس في المركز، ثم الإلكترونات التي تئز في مدارات من حولها. وربما يكون القارئ قد سمع أيضًا بأن البروتونات لها «شحنة موجبة»، والإلكترونات لها «لها شحنة سالبة»، وأن النيوترونات «ليس لها شحنة أو ثمن».[٢٣] حسن هذا يبدو مبهجًا للغاية: علامة موجبة، وعلامة سالبة، وعلامة بالمجان فوق البيعة. ولكن ما الذي نتحدث عنه حقًّا؟ ماذا يعني قولنا إن أحد الجسيمات له «شحنة» وما هي العلاقة بين هذه «الشحنة» تحت الذرية من النوع الخفيف وبين «شحنات» الكهرباء

---

[٢٣] كلمة Charge تعني شحنة أو ثمن. (المترجم)

المألوفة لنا كثيرا التي يظهرها لنا العالَم الحقيقي؟ مثال ذلك عندما تتعطل سيارتك وسط مكان ما ثم تدرك عندما تخرج هاتفك الخلوي «المحمول» لطلب العون أنك نسيت أن تعيد «شحن» بطاريته، وتتبين فجأة أن هذا اليوم ليس بأي حال باليوم الجميل في هذا الحي؟

قد سعيت كذلك بقدر الإمكان إلى أن أجعل ما هو خفي مرئيًّا، وأن أجعل القاصي دانيًا، وأن أجعل الصعب سلسًا. لو أن خلية بشرية نُفخ فيها لتصل إلى حجم شيء يمكن أن تعرضه فوق مائدة قهوتك، فهل سترغب في ذلك؟ كيف ستبدو الخلية عندها؟ ستقول إن الخلية المتوسطة مكان مزدحم للغاية. فهل هي مزدحمة مثل حي مانهاتن أو مثل مدينة تورنتو؟

ليس الأمر أني كنت أريد أن أصل بالإفحام والإذهال إلى مستويات أعلى. وإنما كنت أمطر مصادري بأسئلة تعد في أقصى درجة من المستوى قبل الأساسي وأبتعد عن الاحتماء بالقول بأن «كل واحد يعرف»، حتى أوشك الأمر أن يصل إلى أن يكون الترحيب بي مثل الترحيب بضيفة غريبة في مستعمرة عراة ترتدي سترة علوية صفراء، على أني كان لي في هذا أهداف عديدة لها جدارتها حقًّا. أحد هذه الأهداف أني أردت أن أفهم مادة الموضوع أنا نفسي، وذلك حسب ذلك النوع من الأسلوب العميق الذي يتيح للمرء أن يحس بالراحة عندما يشرح الأمر لشخص آخر. وهدف آخر هو أني أعتقد أن الافتراضات التي تمرر لأول مرة هي وتلك التفسيرات التي لا تفسر شيئًا يعدان سببًا كبيرًا في انصراف الناس عن العلم. بل حتى حينما يبدأ «دليل شليمل» عن الذرة بنظرة سريعة باللغة القياسية المعتادة على مفاهيم تُطرح على أنها أولية وواضحة بذاتها، ولكنها عندما تفكر فيها تجد أنها لا تعني أي شيء حقًّا، عندها هل يكون هناك أي أمل في استيعاب النص ولو باستخدام التبسيط ببالونات مرسومة بالكاريكاتير؟

وفي الوقت نفسه، عندما اخترت أن أسأل أسئلة صغيرة كثيرة عن موضوعات كبيرة قليلة، كنت أتخذ فلسفة اكتسبت مؤخرًا المعجبين بها من بين معلمي العلم — وهي أن أحسن طريقة لتعليم العلم لغير العلميين هي أن تنطلق بالعمق لا بالعرض.

بعد ما لا حصر له من اللقاءات وبعد شهور كثيرة من العمل الشاق، بدأت أشعر بذلك الإحساس الرائع الرهيب بأني «أعرف الأمر من قبل»: فالعلماء يقولون لي الأشياء نفسها التي سمعتها من قبل. وكان هذا «رائعًا» لأنه يعني أني أستطيع أن أثق إلى حد بعيد بأن عندي مجموعة من الأسس العلمية التي يمكن الدفاع عنها، والتي ليست اعتباطية أو خاصة بي وحدي. وكذلك كان «رهيبًا» لأنه يعني أن وقت إجراء التحقيقات قد انتهى، وقد حان وقت الكتابة؛ تلك العملية المؤلمة — على حد وصف سوزان هوكفيلد عالمة الأعصاب — التي تتضمن تحويل تجربة ثلاثية الأبعاد متوازية المعالجة إلى سرد خطي ثنائي الأبعاد. وقالت عنها أيضًا: «إنها أسوأ من محاولة تربيع الدائرة. إنها تربيع كرة.» وهنا أتذكر أني بكيت ذات مرة في محاضرة رسم لأني لم أستطع أن أرسم خطًا مستقيمًا.

الفصل الأول

التفكير علميًّا

الخبرة من غير الجسد

سكوت ستروبل عالم كيمياء حيوية في جامعة ييل، وهو طويل وأنيق وشديد البساطة وصارم بصورة صبيانية، ولون بشرته كالتفاحة اللامعة، وفكّه بارز، وشعره حليق كرقيب في الجيش، ومظهره رياضي. ويحتفظ فوق مكتبه بصور لأطفاله الثلاثة بابتساماتهم المشرقة. لم أدهش عندما عرفت أنه تخرج بامتياز فائق من جامعة «بريجام يونج». قد يكون ستروبل صحبة ممتازة في نزهة عائلية، ولكنه في صباح ذلك اليوم في وسط الأسبوع الذي يدعمه ضوء الفلورسنت، ونحن نجلس في مكتبه حول منضدة القهوة فيما اعتبره شكلًا من أشكال التسلية البناءة، تبدو المتعة في صحبة ستروبل قريبة مما تكون عليه المتعة في صحبة طبيب أورام.

كان ستروبل قد أخرج صندوقه الخاص بلعبة «العقل الموجه» (Master-mind)، وهي لعبة مباراة لم أرها أبدًا من قبل ولا أعرف عنها شيئًا. كثيرًا ما يتبارى ستروبل بهذه اللعبة مع طلبة الدراسات العليا وزملاء ما بعد الدكتوراه في معمله، وهم يحبونها. كذلك اكتشفت أنا لاحقًا أن زوجي وابنتي يحبانها. والآن، أخذ ستروبل يعلمني كيف ألعب «العقل الموجه»، ولكني

أجد أن الكلمات الكثيرة التي تتدافع على لساني لوصف هذه اللعبة ليس من بينها كلمة «حب».

أخذ يشرح لي أن عليك في هذه اللعبة أن تحاول الكشف عما لدى خصمك من ترتيب خفي لأربعة أوتاد ملونة، وذلك بأن تعيد ترتيب أوتادك الخاصة الملونة ما بين ثقوب الأوتاد. إذا خمنت لونًا صحيحًا في الموضع الصحيح، يدخل خصمك وتدًا أسود في جانبه من اللوحة؛ وعند تخمين لون صحيح في الموضع الخطأ تنال عن ذلك وتدًا أبيض؛ أما اللون الخطأ في أي موضع فلا تفوز عنه بأي وتد مطلقًا. هدفك هو أن تنتهي بأربعة أوتاد سوداء عند طرف خصمك من اللوحة في أقل عدد ممكن من الأدوار.

«هل فهمت؟» هكذا قال وهو يدفع اللوحة تجاهي.

قلت متوسلة: «أنا حقًّا لا أحب أبدًا هذه الألعاب. ألا يوجد لديك بدلًا من ذلك أي صور في شرائح عرض لطيفة؟»

فقال: «لدي سبب لأن نبدأ بهذا. هيا انطلقي.»

لم يحدث أن يهب لإنقاذي إعصار تورنادو (قُمعي) ولا أن أصاب فجأة بالتهاب رئوي، وهكذا تنهدت وأخذت أرتب أوتادي في صف بهيج كصفوف الشرطة، بألوان من الأزرق والأحمر والأصفر والأخضر. ويستجيب ستروبل لذلك بأنماط من الأسود والأبيض أو خالية من اللون. أندفعُ بقطعة حمراء، ويدافع بنزع وتد أبيض. أخضر هنا؟ آسفة يا عزيزي. أنا أحاول بأفضل ما عندي، إلا أن مخي مغلق إزاء اللعبة، واختياراتي فيها سيئة وبلا تقدم. قاومت دموعي التي كانت تقفز بضعف محاولة التحرر وكأنها قطرات العرق. أخذت ألعن ستروبل وكل من عاش يومًا من العلماء، خاصة من اخترع لوحة الأوتاد.

أخيرًا أشفق ستروبل علي، وقال: «حسن، أعتقد أنك أدركت فكرة اللعبة» وأنتزع تلك الأوتاد الصغيرة الخبيثة ليعيدها إلى صندوقها، بينما أعود أنا إلى ردة مضطربة.

ويقول مؤكدًا: «لعبة العقل الموجه عالَم مصغر لطريقة عمل العلم» عندما أصر هكذا على أن ألعب المباراة كان يحاول أن يثير اهتمامي بحقيقة

أساسية عن العلم. وإذا كانت أحداث الكوميديا — التراجيدية التي دارت عند مائدة اللعب لدى ستروبل لم تكن من الأوقات المحببة إلي، إلا أنها بما تتصف به من شدة وقعها واستمرار بقائها في الذاكرة تعكس مدى شدة اتفاق العلماء على هذه الحقيقة الأساسية أيًّا كان تخصصهم.

العلم ليس بجسد أو بمجموعة من الحقائق، العلم حالة من العقل. إنه طريقة للنظر إلى العالم، ولمواجهة الواقع بوضوح ولكن من غير أن تؤخذ الأمور بظواهرها. العلم يدور حول مهاجمة مشكلة باستخدام براثن قد هذبت لأقصى درجة، وتفتيت هذه المشكلة إلى قطع معقولة الحجم صالحة للهضم.

هكذا سمعت شهادات جدية بأن العلم ليس مجموعة أو جسدًا من الحقائق، وإنما هو طريقة للتفكير، بل سمعت ذلك حتى بدرجة أكثر مما سمعته من شهادات تدل على مدى ما فيه من المتعة. وسمعت هذه الأقوال عن العلم كطريقة للتفكير لمرات كثيرة كثرة بالغة، حتى إنها أخذت تتخذ لنفسها وجودًا خاصًّا متجسدًا.

دافيد ستيفنسون عالم كواكب في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (واختصاره معهد «كالتك»)، وهو يقول: «الكثير من المدرسين الذين لا يقدرون العلم تقديرًا عميقًا يقدمونه كمجموعة أو كجسد من الحقائق. ما نفتقده في معظم الحالات هو فكرة التفكير النقدي، كيف يمكنك تقييم الأفكار أيها معقول وأيها غير معقول.»

أما نيل شوبين عالم الباليونتولوجيا في جامعة شيكاغو فيقول: «عندما أفكر في العلم الذي تلقيته في المدرسة الثانوية، أتذكر أنه كان يُدرس لنا كمجموعة من الحقائق والقوانين علينا أن نحفظها عن ظهر قلب، مثل دورة كريبس[1] وتصنيفات لينيه.[2] هذه الطريقة في تناول العلم لا تقتصر على أن تضيّع أي متعة لأداء العلم عند معظم الناس، ولكنها أيضًا تجعل الجميع

[1] دورة كريبس، دورة في أيض الكائنات الحية تنسب لعالم الكيمياء الحيوية الإنجليزي هانز كريبس. (المترجم)
[2] تصنيفات للنبات تنسب إلى العالم السويدي لينيه. (المترجم)

يرون العلم برؤية مشوهة. العلم ليس جسدًا جامدًا أو مجموعة جامدة من الحقائق، إنه عملية اكتشاف ديناميكية، وإنه حي كالحياة نفسها.»

يقول دافيد بالتيمور الرئيس السابق لمعهد «كالتك»: «لا يهمني بأي حال أن يحفظ الناس عن ظهر قلب الجدول الدوري للعناصر أو ألا يحفظوه. ما أفهمه هو أنهم أكثر اهتمامًا بالمشاكل التي لها معنى في حياتهم الخاصة. كل ما أتمناه هو أن يتعاملوا مع هذه المشاكل بطريقة أكثر عقلانية.»

عندما يقدم العلم كمجموعة أو جسد من الحقائق فإنه يصبح مسردًا جامدًا للمصطلحات. عندما تتصفح كتابًا دراسيًّا أو موقعًا تعليميًّا على أحد مواقع الويب، تتواثب إليك الكلمات منضدة بأحرف طباعة ثقيلة. ويتولاك الإغراء بأن تتجاهل كل شيء فيما عدا المصطلحات التي كتبت ببنط خاص أكثر إثارة للانتباه. وتحسب أنك إذا حفظت هذه المصطلحات ربما لن ترسب في الكيمياء. ولكنك إذا اتبعت هذه الاستراتيجية، فستزيد الفرصة تمامًا لأن ترسب في الأمور المهمة بالكيمياء — ليس فيما يتعلق ببطاقة التسجيل التي تحتفظ بها في حقيبة ظهرك، وإنما فيما يتعلق ببطاقة التصنيف في مخك.

إن تصوير العلم على أنه مجموعة حقائق ذكية لا تخطئ تزعجنا لوقت طويل على صفحات مجلة «جيوباردي!» بعد الظهيرة يلائم أيضًا أعداء العلم، مثل أعداء التطور الذين يتشبثون بأي حفرية فيها ما يثير النزاع ليثيروا بها الشك في كل النظرية الداروينية. يقول شوبين: «يحاول التكوينيون[٣] أول كل شيء أن يصوروا العلم كجسد أو كمجموعة من الحقائق واليقينيات، ثم يهاجمون بعدها هذا «اليقين» أو ذاك لأنه في النهاية ليس باليقين تمامًا. ويصيحون: «آه! أنتم لا تستطيعون اتخاذ قرار، أنتم لا يمكن الوثوق بكم. لماذا ينبغي أن نصدقكم في أي شيء؟» ومع ذلك فإنهم في المقام الأول هم الذين خلقوا وهْم أن العلم معصوم من الخطأ.»

يقول مايكل دوف عالم الفيزياء النظرية في جامعة ميتشيجان: «العلم ليس بمجموعة من العقائد الجامدة، فالحقائق التي نسميها بأنها حقيقة

[٣] التكوينيون من يؤمنون بسفر التكوين حرفيًّا باعتباره يؤرخ للكون ونشأته. (المترجم)

علمية يتم باستمرار مراجعتها وتحديها وتنقيحها. إنه لما يثير الحنق أن نسمع الناس المتمسكين بالآراء الأصولية وهم يتهمون العلماء بأنهم هم الذين يتصفون بعدم المرونة والتصلب، في حين أن الأمر يكون عادة عكس ذلك. أي عالم يعرف أن أي اكتشاف جديد يزيح الغطاء عنه بما يتاح له من حسن حظه، سوف يثير أسئلة أكبر مما بدأ به، وأنه يجب على هذا العالم أن يشك دائمًا فيما يظن أنه صحيح ويذكّر نفسه بمدى قلة ما يعرفه، فالعلم نشاط متواضع جدًّا كما أنه يثير في النفس التواضع.»

ويضيف دوف مسرعًا: «وهذا لا يعني أنه لا يوجد علماء متعجرفون هنا أو هناك.»

إذا عدنا إلى جامعة ييل نجد أن ستروبل يقدم تفسيرًا أكثر لرسالة لعبة «العقل الموجه». فإذا لم يكن العلم مجموعة لا تتغير من الحقائق، ماذا يكون إذن؟ ما الذي يعنيه التفكير علميًّا، أو أن تحاول التغلب على مشكلة بأسلوب علمي؟ إن العالَم كبير، ويتسم بالفوضى، إنه عبارة عن غرفة نوم مراهق؛ كل شيء موجود بها. فكيف تلقي بكل هذا في البالوعة؟ وكيف يمكنك أن تبدأ في فهمه؟ بشوكة واحدة وطبق واحد عرضي من تلك الأطباق الزجاجية التي تستخدم في المعامل وبمقدار ملقاط في كل مرة.

يقول ستروبل: «عندما نحاول طرح سؤال بطريقة تعطينا بيانات يمكن تفسيرها، فإننا بهذا نريد أن نعزل متغيرًا. نحن في العلم نعاني كثيرًا حتى نصمم تجارب تسأل سؤالًا واحدًا في كل مرة. هكذا نعزل متغيرًا واحدًا، ثم نرى ماذا يحدث عندما نبدل هذا المتغير وحده، ونبذل أثناء ذلك كل الجهد للإبقاء على كل شيء آخر في التجربة بدون تغيير.» في لعبة «العقل الموجه» يغير اللاعب وتدًا واحدًا ويرقب تأثير هذا التغيير في «تجربة» اللاعب الآخر. في العلم إذا أردت أن تعرف مثلًا، إذا كان تفاعلًا كيميائيًّا يعتمد على وجود الأوكسجين، فإنك تحضر للتجربة مرتين، إحداهما بالأوكسجين، والأخرى بدونه، وتبقي كل شيء آخر كما هو ما أمكنك ذلك — الحرارة نفسها، الضوء نفسه، التوقيت نفسه، نوع الوعاء نفسه، وحتى تكون آمنا ترتدي الجورب الأبيض والحذاء نفسه.

لا يلزم عليك العمل أمام منضدة المعمل لتتبع خطة مباراة علمية؛ فالناس يتبعون سلوكا علميًّا طول الوقت، وإن كانوا قد لايدركون ذلك. يقول بول ستيرنبرج عالم البيولوجيا التنموية في معهد «كالتك»: «عندما يحاول أحدهم إصلاح جهاز عرض الأفلام بالقرص الرقمي المتعدد الاستعمالات (DVD)، فإنه يجري التجارب ويجري معها تجارب بعوامل حاكمة. الخطوة الأولى هي الملاحظة: كيف تبدو الصورة؟ ما هي الأشياء التي يمكن أن تكون خطأ هنا؟ هل هو حقًّا جهاز تشغيل القرص الرقمي، أم جهاز التليفزيون؟ وتصل إلى أحد الفروض، ثم تبدأ في اختباره. تستعير جهاز جارك لتشغيل القرص الرقمي، وتوصله، وترى أن جهاز تليفزيونك سليم. وعندها تفحص مدخل ومخرج جهازك لتشغيل القرص الرقمي، سلكين اثنين. قد تستطيع اكتشاف المشكلة حتى وأنت لاتفهم حقًّا كيف يعمل جهازك لتشغيل القرص الرقمي.

ثم يقول ستيرنبرج: «أو أنك قد تحاول معرفة ما أصاب أحد حيواناتك الأليفة. لماذا تبدو هذه السمكة في حالة غريبة؟ لماذا يبدو كلبي مضطربًا؟ سأطعم الهامستر[٤] طعامًا أقل أو أكثر، أو لعله لا يحب الضجة، ولذا سأنقله بعيدا عن منظومة أجهزة الاستريو. هل أختار العمل بالوظيفة (أ) أم الوظيفة (ب)؟ حسن، دعني أرى المسافة التي سأسوق فيها السيارة من مقر العمل إلى مدرسة ابنتي أثناء فترة زحام المرور؛ قد يكون هذا هو العامل الحاسم في اتخاذ القرار. هذه كلها أمثلة من تشكيل الفروض، وإجراء التجارب، والوصول إلى إجراء تجارب بعوامل للتحكم. يتعلم بعض الناس هذه الأمور في سن مبكرة. ولكني حتى أكتشفها كان علي أن أحصل على الدكتوراه.»

طرح بعض العلماء أن الناس ربما يسهل عليهم أكثر التعامل مع ما في العلم من «مساميره وصواميله» إذا كانوا على دراية قبلها بالمسامير والصواميل العادية. يقول دافيد بوتستين بجامعة برينستون: «من الأسهل تقديم العلم

[٤] الهامستر نوع من القوارض يشبه الجرذ، يوجد في أوروبا وآسيا ويستخدم كحيوان أليف. (المترجم)

إلى الطلبة والجمهور غير المتخصص إذا كانوا من الأفراد الذين يصلحون سياراتهم بأنفسهم أو يضعون أيديهم في مختلف أنواع الماكينات. في الفترة التي تلت مباشرة الحرب العالمية الثانية، كان كل واحد ممن نالوا تدريبًا أساسيًّا يعرف طريقة عمل التروس التفاضلية[5] لأنه قد فكك واحدًا منها.»

المزارعون أيضًا علماء بطبيعتهم. فهم يفهمون الفروق الدقيقة للفصول، والمناخ، ونمو النبات، ودورات الحياة فيما بين الطفيليات وعائليها. إنه حب الاستطلاع العلمي الذي أهّل الآباء المؤسسين لأمتنا لعضوية «نادي النهضة». كل واحد له جذوره الزراعية. أجرى توماس جيفرسون[6] تجاربه على القرع والقنبيط المستورد من إيطاليا، والتين المستورد من فرنسا، والفلفل من المكسيك، والفاصوليا التي جمعتها شركة «لويس وكلارك»، كما أنه سعى منهجيًّا لانتخاب «أفضل» أنواع الفاكهة والخضروات التي تُقدم في العالم، وإلى أن «يرفض كل شيء آخر لبستانه». صمم جورج واشنطن طرائق جديدة للتسميد ودورات المحاصيل، واخترع حظيرة الدرس ذات الجوانب الستة عشر، التي تخب فيها الخيل فوق القمح المحصود حديثًا وتنفض على نحو فعال الحبَّ عن السيقان.

يقول أندرو نول، أستاذ للتاريخ الطبيعي في جامعة هارفارد في قسم علوم الأرض والكواكب: «حاليًّا، الأمريكي البالغ المتوسط له معرفة بالبيولوجيا أقل من صبي متوسط في العاشرة يعيش في الأمازون، أو أقل من الأمريكي المتوسط منذ مائتي سنة. مما يثير السخرية أننا توصلنا من خلال ثمار ونتاج العلم إلى أن نضع عازلًا بين الناس وحاجتهم إلى معرفة العلم والطبيعة». ومع ذلك لا يزال الناس يحاولون معرفة ما أصاب حيواناتهم الأليفة، وأطفالهم، ويحاولون كذلك في لحظات من التهور المطلق معرفة ما أصاب حواسيبهم، وهم يطبقون الاستدلال العلمي في أوضاع كثيرة دون أن يدركوا ذلك، والسبب البسيط لذلك هو أن هذه الطريقة تنجح تمامًا.

---

[5] التروس التفاضلية ترتيب في تروس تعشيق السيارة يسمح للعجلتين الخلفيتين بأن تدورا بسرعات مختلفة عند المنحنيات. (المترجم)

[6] توماس جيفرسون ثالث رئيس للولايات المتحدة (١٨٠١–١٨٠٩). (المترجم)

يتأسس الكثير من أسباب هذا النجاح على قاعدة أساسية أخرى في المنحى العلمي. يتفق العلماء على نحو جازم تمامًا على أن هناك واقعًا قابلًا للفهم، وهو فهم بطرائق يمكن أن يشارك فيها الآخرون وأن يوافقوا عليها. نستطيع أن نسمي ذلك إن شئنا بأنه الواقع «الموضوعي»، مقابل ما يسمى بالواقع الذاتي، أو الرأي، أو «مجموعة غير عادية من النزعات». على أن التباين هنا خادع، لأنه يتضمن أن الواقعين كيانان متميزان لا يوجد بينهما شيء مشترك ملحوظ إلا القليل. الواقع الموضوعي موجود هناك في الخارج، إنه الآخر، غير الشخصي، وما «ليس أنا»، في حين أن الواقع الذاتي خاص، وحميم، وفريد، وهو الحياة كما تعاش حقًّا. الواقع الموضوعي بارد ومجرد؛ أما الواقع الذاتي، فحار وحيوي. ولكن العلم فعال لأنه يتجاوز مثل هذه الثنائيات مفضلًا ما يمكن أن يسمى بالعالمية التجريبية، إنها تلك المقدمة المنطقية المفعمة بالحيوية والنتائج المثمرة الهائلة والتي تقول إن الواقع الموضوعي للكون يشمل الواقع الذاتي لكل واحد منا. نحن جزء من الكون وعندما ندرسه فإننا في النهاية نحول المرآة إلينا نحن أنفسنا. يقول بريان جرين: «العلم لا يصف كونًا هناك في الخارج، بينما نحن كيانات منفصلة، نحن جزء من هذا الكون، صُنعنا من الخامة نفسها مثل الكون، ومن المكونات نفسها التي تسلك حسب القوانين نفسها كما يحدث في أي مكان آخر في الكون.»

عندما يتجمع جزئ ماء في قطرة فوق جبهة أحدهم في جامعة ييل، فإنه لا يتميز عن جزئ للماء ينزلق خلال الفضاء من فوق المذنب «كوهوتك»، الرماد المرماد، وغبار النجوم لغبارنا. وكما سأصف لاحقًا بالتفصيل، فإن عناصر أجسامنا، وعناصر الأرض، وعناصر مئزرة (مريلة) العطلة المنقوشة التي ترتديها جدتي، كلها تشكلت في أحشاء نجوم أو شموس ماتت من زمن طويل.

عندما يقال إن هناك واقعًا موضوعيًّا وأن له وجود وأنه يمكن فهمه، فإن هذا كله إحدى تلك القصائد العلمية لحقيقة مبسطة تكاد تكون في

جمالها بلا قرار. من السهل أن ننسى أن هناك كَونًا موضوعيًّا ملموسًا، فضاء خارجيًّا يقاس بالسنوات الضوئية، وكونًا متناهي الصغر يتعامل بوحدة الإنجستروم،[٧] وهي عملة الذرات؛ لقد نجحنا كل النجاح في أن نشكل الواقع اليومي ليعكس ما للإنسان العاقل من معلمات واحتياجات ضيقة للغاية. تتحول حياتنا الذاتية إلى حياة موضوعية، وننسى أن القمر قد يظهر كل ليلة في ساعة متأخرة، وأننا كثيرًا ما لا يكون لدينا إشارة تلمح لنا عن مكان العثور عليه في السماء. نحن قد صُنعنا من غبار النجوم؛ لماذا لا نقضي لحظات قليلة لنتطلع لأعلى في ألبوم صور العائلة؟ يقول مايكل براون عالم الكواكب في معهد «كالتك»: «يحدث في معظم الوقت أن يخرج الناس للتمشية ليلًا ويرون النجوم، يا لها من خلفية كبيرة جميلة، ولكنها ليست واقعية تمامًا. لا يخطر على بالهم أن النمط الذي يرونه في السماء يكرر نفسه مرة واحدة في كل سنة، أو أنهم لا يدركون السبب في أن هذا حقيقي.»

يالضوء النجم، النجم اللامع، يود براون أن نجرب هذه الحيلة ليلًا: انتبه إلى القمر. اذهب إلى الخارج لأمسيات قليلة في أي شهر بعينه، وانظر متى يبزغ القمر، وفي أي طور يكون، ومتى يغرب، ثم انظر إن كنت تستطيع تفسير السبب. ويقول براون: «عندما تفعل هذا لا غير، ستدرك أن الشمس والقمر كلاهما هناك في الخارج، وأن الشمس بالفعل تسطع على القمر، وأن القمر يدور حول الأرض، وأن هذا كله ليس مجرد تأثير خاص كما في أفلام هوليود.» يعرف براون عن خبرة مباشرة كيف يمكن أن تكون ملاحظات بسيطة كهذه لها تأثير غاية في القوة. كان براون ذات صيف بعد تخرجه من الكلية يقطع أوروبا بالدراجة وينام في العراء كل ليلة. ومما يتفق مع حالته كشاب منطلق ويسافر في الخارج، أنه لم يكن يلبس ساعة يد، ورأى أنه يمكنه معرفة الوقت عن طريق أطوار القمر. ويقول: «أدركت أني لم ألحظ أبدًا من قبل أن القمر المكتمل يبزغ عندما

---

[٧] الإنجستروم وحدة تستخدم لقياس المسافات بالغة الصغر وتساوى ١٠$^{-١٠}$ من الأمتار أو جزء من ١٠ مليار من المتر. (المترجم)

تغرب الشمس. وكما تعرفين، خطر لي أن هذا أمر معقول. أعتقد أنني كان ينبغي أن أحس بالحرج لأني لم ألحظ هذا من قبل، ولكني لم أحس بشيء من ذلك. بدلًا من ذلك شعرت فحسب بشعور من التعجب. العالم الفيزيقي كله هناك في الخارج حقًّا، والأمور تظل تحدث حقًّا. من السهل جدًّا أن تعزل نفسك عن معظم العالم، ناهيك عن باقي الكون.»

مات أبي على غير توقع من ورم سريع النمو، وفي آخر ربيع في حياته أخبرني أن هذه كانت أول مرة يتوقف فيها أثناء جولات سيره في منتزه سنترال بارك في نيو يورك، ليوجه انتباهه إلى تفاصيل النباتات المزدهرة: بروز برعم من نبات «وردة الصوم»، تفتح زهرة ناتئة «للمجنوليا»، غصن نرجس مزهر، نبتة «لسان الثور» السيبيرية، وعشب «القلب الدامي». أثر هذا فيّ تأثيرًا شديدًا، حتى إني من وقتها وأنا أحاول أن أفعل مثل ذلك، لأشهد من جديد إعادة ميلاد العالم. أخذت في كل ربيع أسأل سؤالًا محددًا حول ما أراه، وأشعر هكذا وكأني أضيء شمعة لذكرى أبي، لهب صغير مركّز إزاء خواء الاستغراق في الذات، وعماء الأنا.

هناك طريقة أخرى آمنة ضد الفشل نغير بها من طريقة رؤيتنا للعالم، وهي أن نستخدم ميكروسكوبًا، على ألا يكون من تلك الميكروسكوبات اللعبة التي تباع في معظم سلسلة متاجر «ساينس آند ديسكفري»، والتي كما لاحظ توم أيزنر، أستاذ الإيكولوجيا[8] الكيميائية في كورنيل، أنه يتم فك أغلفتها صباح عيد الميلاد، ثم ترمى في دورة المياه في اليوم التالي. كذلك على ألا يكون من الميكروسكوبات التي تكبّر العينات لمئات المرات وتجعل كل شيء يبدو وكأنه صورة التقطها قمر صناعي لحقل ذرة في ولاية أيوا. ينبغي أن تشتري بدلًا من ذلك ميكروسكوب تشريح، الذي يعرف أيضًا بالميكروسكوب المجسّم. لا يمكن إنكار أن هذه الميكروسكوبات ليست رخيصة، ويصل ثمنها إلى بضع مئات من الدولارات تقريبًا. إلا أن هذا سعر متواضع بالنسبة لما ستستفيد به من كشف، وثورة — ودعنا نقل

[8] الأيكولوجيا فرع علم الأحياء الذي يدرس العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها. (المترجم)

أيضًا ما دمنا بهذا الصدد — ولما ستستفيد به من إنقاذ للذات. وأنا مثل الأستاذ براون أتكلم بناء على خبرتي. لقد تعودت النظر في المعامل من خلال ميكروسكوبات قوية العدسات لأرى خلايا الجهاز المناعي وخلايا السرطان، وبيض الضفادع ونسيج الكلى من أجنة الفئران. إلا أن ابنتي تلقت ميكروسكوب تشريح كهدية لها، ومن يومها أخذنا نستخدمه للنظر به إلى كل ما يقع لنا من الحياة اليومية، وأخذت أنا أصيح مهللة: ريشة من طائر زرياب أزرق، ورقة من السرخس الملتف، كشطة من غصن تبين أنه مأوى محكم كعش نحل يعشش فيه بيض بق نتن. ما أكثر ما تراه من قوة التأثير والعمق، الظلال والأشواك، وهي تتواثب إليك عندما نعطي المجال للشيء الصغير ليتبختر مختالًا. عند التكبير لمجرد ٤٠ مرة، تبدو حبات الملح وكأنها نمارق زجاجية مبعثرة، وتصير الخنفساء الوليدة كحلية ثمينة في شكل بيضة صاغها «فابرجيه»،[٩] وبقدر ما أكره البعوض، إلا أن البعوضة تحت الميكروسكوب تبدو بالضبط مثل تمثال لرجل نحيل الجسد يطير ومعه كمان نحته «جياكومتي».[١٠]

نعم العالم هناك بالخارج، فوق رأسك، وتحت أنفك، وهو حقيقي وقابل للمعرفة. عندما تفهم السبب في أن شيء ما موجود بالصورة التي هو عليها فإن هذا لا يؤدي بأية حال إلى الإنقاص من جماله وعظمته ولا يؤدي إلى اختزال ما نلاحظه على أنه «مجرد حزمة من» — الكيماويات، أو الجزيئات، عينات لميكروسكوب. ينزعج العلماء من الفكرة المبتذلة التي تقول إن متابعتهم للمعرفة تقلل من سر أو فن أو «قداسة» الحياة. لنقل مثلًا إنك تنظر إلى وردة حمراء، كما يقول بريان جرين، وأنك تفهم شيئًا من الفيزياء وراء هذا التضرج الرائع بحمرة الدم. فأنت تعرف أن الحمرة بكل تأكيد لون له طول موجة معيّن في الضوء، وأن الضوء مصنوع من جسيمات صغيرة اسمها الفوتونات. وأنت تفهم أن الفوتونات

---

[٩] فابرجيه، بيتر كارك (١٨٤٦–١٩٢٠م) صائغ مجوهرات روسي كان مشهورًا بصنع حلي في شكل بيضة الفصح. (المترجم)

[١٠] جياكومتي، البرتو (١٩٠١–١٩٦٦م) نحات ورسام سويسري مشهور. (المترجم)

تمثّل كل الألوان في تيار قوس قزح الذي ينساب من الشمس ويقع على سطح الزهرة، إلا أنه كنتيجة للتركيب الجزيئي للصبغات في الوردة، فإن الفوتونات الحمراء هي التي ترتد متواثبة من البتلات إلى عينيك، فتراها حمراء.

يقول جرين: «إنني أحب هذه الصورة، وأحب ذلك السطر الإضافي في القصة، المستمد مصادفة من ريتشارد فينمان.[١١] ولكني لا تزال عندي الاستجابة العاطفية نفسها للوردة مثل أي شخص آخر. فليس الأمر وكأنك تحولت إلى إنسان آلي،[١٢] يشرّح الأشياء حتى تموت.» الأمر على عكس ذلك. الوردة تكون وردة وتبقى وردة، أما الوردة التي يتم تفحصها ودراستها فهي قصيدة سوناتا.

في إمكاننا أن نستكشف الكون ويتزايد فهمنا له دون أن يفقد «سحره» ولكن هذا لا يتضمن نتيجة ملازمة وهي: أنه ربما تكون كلمة «سحر» حقيقية في نهاية الأمر، وأن السحر يوجد مخبوءًا تحت تراكمات من نظام ظاهري، وأنه سيحدث ذات يوم أن الواقع سيتم ركله بعيدًا بمكنسة طويلة نشطة ترمي به تجاه «قلعة هوجوارتس» حيث مدرسة تعليم السحر في رواية «هاري بوتر». ما زال الكون بالطبع يعج بالأسرار، ولكن العلماء في اقتناعهم بأن الكون قابل للمعرفة يشكّون في أن ما به من تساؤلات عندما تُفهم جيدًا حتى تصبح أمورًا مسلمًا بها ستثبت أنها مناطق اعتباطية لا قوانين لها أو فوق طبيعية لا تُعلّل. يقول ستيفن واينبرج: «لدينا فكرة جيدة تمامًا عما يكونه نوع هذا العالم، وأنه ليس غامضًا بالمعنى التقليدي للكلمة، وكما قد يتمنى البعض. فهو ليس بعالم يرتبط فيه مصير الإنسان بمواضع الكواكب، أو يمكن فيه شفاء أمراض الناس بالبلورة السحرية أو الملاعق التي تلتوى بتفكيرهم. أحيانًا تطلب

[١١] ريتشارد فينمان (١٩١٨–١٩٨٨م) فيزيائي أمريكي فاز بجائزة نوبل ١٩٦٥م لإسهاماته في ميكانيكا الكم كما شارك في صنع أول قنبلة ذرية. (المترجم)

[١٢] الأوتوماتون آلة تقلد حركة الكائن الحي، وخاصة الإنسان الآلي، أو الأوتوماتون كائن حي يتصرف بطريقة آلية أو روتينية بلا ذكاء أو شعور. (المترجم)

الشرطة وسيطًا روحيًّا ليساعد في حل مشكلة، وتسمع عندها نقاشًا في التليفزيون يؤيد ذلك أو يعارضه. ولكن هذا في الحقيقة ليس أمرًا مطروحًا للجدال.»

مثال ذلك أن أحد الألغاز الكبرى المحيرة في علم الفلك هي ما يسمى بالطاقة المظلمة، نوع من قوة مضادة للجاذبية يبدو أنها تضغط على بدال السرعة في الكون. وُلد الكون، كما سنناقش ذلك فيما بعد، بالانفجار الكبير المشهور، منذ ما يقرب من ١٣٫٧ من بلايين السنين، وظل يتمدد منذ ذلك الوقت؛ إلى هنا وهذا واضح ويكاد لا يقبل الخلاف. حتى وقت قريب تمامًا كان العلماء يعتقدون أن سرعة التمدد تتباطأ. أنت تعرف كيف يكون ذلك: يبدأ الأمر باندفاع طائش ثم يبدأ مرور الأعوام يؤثر عليه فيتقلص. هكذا كان الظن أيضًا فيما يتعلق بالكون، فكان يفترض أن قوى الجذب التي تمارسها الجاذبية لكل كتلته تبطئ من سرعة تمدده. إلا أن الباحثين أدركوا مؤخرًا أنه بدلًا من ذلك يحدث العكس. فالتمدد يتسارع. المجرات تنطلق متباعدة إحداها عن الأخرى بسرعة تتزايد أبدًا. وجد كوننا رياحًا أخرى تدفعه. ماذا تعني هذه القوة الشبح، هذا العامل المستفز من الدرجة الأولى، هذه الطاقة التي تثابر على إثارة الفتنة وتتخفي وراء نظارة مظلمة؟ هل يستدعي وجودها الشك في كل صرح الفيزياء الفلكية، وكل ما تعلمناه إلى الآن عن الكون؟ نستشهد هنا بستيفن مارتن أشهر الكوميديين عندما يصيح: «لالالالا!». الطاقة المظلمة تبهر أعين العلماء. فهم مبهورون بحجمها وقوتها. وهم يودون كثيرًا جدًّا جدًّا فهمها. على أني لم أجد أن أحدا ممن تكلمت معهم من العلماء يحس بأي تهديد منها. فلديهم كلهم بعض أفكار عما قد تكونه الطاقة المظلمة. وهم متفتحون لتلقي أي اقتراحات أخرى أفضل. ولكنهم ليسوا أبدًا على وشك استشارة وسيط روحي ليساعدهم في العثور على الجثة.

على كل حال، فإن سجلات التاريخ مفعمة بالألغاز التي كانت «تتعذر على الفهم» وغدت مفهومة. يستشهد روبرت جاف عالم النفس في معهد «ممت» بحالة ما يمكن أن يسمى الأبراج ولعنة الجحيم. كانت الكاتدرائيات

والكنائس المسيحية تبنى تقليديًّا فوق أعلى مرتفع في المدينة وتزود بأعلى أبراج شاهقة يستطيع أبناء الأبرشية تحمل تكلفتها، والتي يفضل أن تعلو تجاه السماء في إغواء للجيران لسوء الحظ، كانت هذه الأبراج الخشبية السامقة تجذب ما هو أكثر من الحسد: تضرب صواعق البرق بانتظام هذه الكنائس لتلتهب بحرائق تدمرها إلى هشيم بدرجات شتى. ويقول جاف: «في كل مرة يحدث فيها ذلك، يدور حوار شائن حول الخطيئة وانتقام الرب، وما الذي ارتكبته الأبرشية ليجلب عليها الغضب الإلهي.» ثم حدث في القرن الثامن عشر أن توصل بنيامين فرانكلين[١٣] إلى أن البرق ظاهرة كهربائية وليس ظاهرة سماوية. وأوصى بأن توضع قضبان موصلة للكهرباء فوق كل الأبراج وأسطح المباني، واختفت كل مناقشات النزاع حول الدلالات الرمزية لصواعق البرق. في أيامنا هذه نجد أن اعتبار حريق في كنيسة أمرًا من فعل الرب هو أقل احتمالًا من أن نعتبر من فعل الرب ما يحدث من قس سكير يهمل إطفاء الشموع.

قد يؤمن العلماء بأن الكثير مما في الكون، إن لم يكن كله، سيثبت في النهاية أنه قابل للفهم، ومع ذلك فإنه لما يثير الاهتمام، أن هذه القابلية للفهم تظل دائمًا تذهلهم. لاحظ إيمانويل كانْت أن «أكثر ما يذهل حول الكون أنه يمكن فهمه» وكان هذا بالكاد يشبه شرطًا في الاتفاق الذي يسبق الزفاف. وكما يوضح لنا جون باكال عالم الفيزياء الفلكية في برينستون، في لقاء تم قبل وفاته بزمن قليل، فإننا قد خرجنا زاحفين من المحيط، وتحدد وجودنا فوق كتلة الأرض الضئيلة التي تدور حول شمس أو نجم متوسط الحجم، متوسط العمر، شاحب الوجه، يقع في أحد أذرع مجرة تبدو كلعبة أخرى من لعب دولاب أطفال بين ملايين المجرات الموشاة بالنجوم؛ ومع ذلك فقد توصلنا لتفهم الكون بأكبر المقاييس وأطول الأطر الزمانية، وابتداء بما تحت الذرة حتى حرف الكون. ويقول باكال: «هذا رائع، هذا خارق للمعتاد، ولم يكن يجب عليه أن يكون على هذا النحو.»

---

[١٣] بنيامين فرانكلين عالم ومؤلف ودبلوماسي أمريكي (١٧٠٦–١٧٩٠م). (المترجم)

وبكلمات أخرى نحن يمكننا أن نحصي نجوم الحظ لأن النجوم يمكن أن تُحصَى. يقول بريان جرين: «يمكنك أن تتخيل كونًا بالغ التعقيد بصرف النظر عن طريقة نظرك إليه أو محاولتك لتحليله. ولكننا لا نعيش في كون من هذا النوع، وأنا واحد من الممتنين لذلك.» قد يبدو العالم مربكًا، فوضويًّا، وفظًّا بما لا يوصف، ولكن لا يزال يوجد تحت هذا كله قدر معين من النظام. يقول جرين: «روعة العلم أن أفكارًا قليلة بسيطة جدًّا يمكن أن ينتج عنها ظواهر ثرية بما لا يصدق. من المذهل أن تكون رموز قليلة فوق سبورة هي أساس الكثير مما نخبره.» آه، نعم، «رموز قليلة فوق سبورة» تلك الحديقة الملطخة بالنقوش التي تغطي سبورة جرين والسبورات الخضراء والسبورات البيضاء المسودة بالعلامات عند كل فيزيائي قمت بزيارته. الفيزيائيون لا يخطون المعادلات وهم يتخذون وضعًا معينًا أمام رسام كاريكاتير. إنهم يخطون الأنابيش أيضًا الواحد منهم للآخر. إنهم يتحدثون الأحاديث، ويكتبون بالطباشير كما تكون كتابة الطباشير، وهم مثلنا يتعجبون من أنه كثيرًا ما يحدث أن حساباتهم التجريدية تتلاءم مع الحياة المجسدة. يتحدث الفيزيائي يوجين ويجنر عن «الفعالية غير المعقولة للرياضيات» في أنها ترسم خطوط الحاضر، وتخرج الماضي من مدفنه، وتخبز فطيرة حظ موثوق بها بدرجة أكبر، يستطيع العلماء بمساعدة من الرياضيات أن يحسبوا مثلًا أوقات كسوف الشمس لآلاف السنين مقدمًا، أو أن يقيسوا وقت إطلاق مسبار فضائي بحيث يلتقي في موعد معين مع نبتون، أو أن يتنبئوا بزمن حياة وآلام احتضار نجم بعيد. ثبت أن الرياضيات وسيلة قوية لتشريح الواقع حتى إن الكثير من العلماء يرون أنها ليست مجرد اختراع بشري، مثل الميكروسكوب أو الحاسوب، وإنما هي انعكاس لصفات متأصلة في الكون، لمحة من أساس معماره ونظام تشغيله. بهذه النظرة لن تحتاج لأن تكون السليل البشري لسمكة ذات رئة أو السليل الذكي للرياضي الإغريقي إقليدس لتدرك أن بنية المكان — الزمان لها هندسة مميَّزه كسرج محنى، وهي هندسة نسميها نحن أهل الأرض بأنها هندسة غير إقليدية. يقول جون شوارتز عالم الفيزياء النظرية في

معهد «كالتك»: «عندما يقول أحدهم إنه كان أول من اكتشف ميكانيكا الكم أو نظرية النسبية أو ما أشبه، أفكر دائمًا عندها في نفسي، بأنه ربما يكون قد تم اكتشاف ذلك لملايين المرات من قبل، بواسطة حضارات أخرى في هذه المجرة أو في مجرات أخرى.»

مع كل قوة الرياضة في أن تجعل للواقع معنى إلا أنه ينبغي ألا نفكر فيها كشيء لا يُنتهك، ولا يقبل المقارنة، بل هو حتى شيء مقدس. عندما نصف إحدى الظواهر رياضيًّا فإن هذا الوصف ليس بوصف أصدق من تفسير مرادف غير رياضي، ويماثل ذلك أن كلمة «مائدة» ليست أصدق أداء من التنول بأنها «قطعة أثاث ذات قمة ناعمة مسطحة فوق أرجل» وليست أصدق من كلمة المائدة بالإسبانية (Mesa)، والإيطالية (Tavolo) والألمانية (Tische). الرياضيات هي «إحدى» اللغات وليست هي اللغة، ورموزها يمكن تفسيرها بعبارات اصطلاحية أخرى، بما في ذلك اللهجة الإنجليزية المحبوبة المسماة بالإنجليزية الواضحة. الرياضيات وسيلة لغاية وهذه الغاية يجب أن تفيد فائدة أكبر من أن تجعل الرمز أكثر تحليقًا، الرياضيات هكذا بالنسبة للجميع، وذلك فيما عدا زمرة ضئيلة من الباحثين المعروفين بعلماء الرياضة البحتة، الذين لديهم اهتمام ضئيل بوصل النقاط بين النظرية والواقع. ينبغي أن تعيد الرياضيات تسليم الواقع لنا وقد كتب عليه هذه المرة عناوين الفصول، والحواشي والهوامش وأفعال منتقاة بعناية بحيث تكون قوية بصورة كافية لتحمل ثقل النهاية المحتومة للجملة: علامة الاستفهام. يثور سخطى من العلماء الذين يشكون من نفور مؤلفي كتب العلم الجماهيرية من أن يضمنوا كتاباتهم قدرًا ضئيلًا من الرياضيات، ويصر هؤلاء العلماء على أن القصة التي تروى هكذا تكون ناقصة بل حتى مضللة بعض الشيء، وكأن النقطة المهمة في الرياضيات هي الرياضيات. يقول بريان جرين: «من حيث المبدأ، فإن كل معادلة يمكننا أن نعبر عنها في صورة جملة.» لا يمكن إنكار أن هذا النوع من الترجمة كثيرًا ما يكون في جمل خرقاء لا يود المرء أن يدخل في تلافيف كتاب منها، ولكن المغزى واضح: حتى إذا كنت تحس بالخدر من الأرقام، فإنك لا تزال قادرًا على

تفهم ما عليها أن تخبرك به عن الكون. في استطاعتك أن تكون عالمًا محنكًا تمامًا بدون التمكن من الكثير من علم الرياضيات أو بلا أي تمكن. كيب هودجز مدير «مدرسة الأرض واستكشاف الفضاء» في جامعة ولاية أريزونا، وهو يقول: «لم أشعر أبدًا أن العلم يعتمد هذا الاعتماد البالغ على الرياضيات كما يشعر بعض العلماء. الرياضيات طريقة لوصف الطبيعة ولكنها ليست بالضرورة طريقة لفهمها.»

نعم، ينبغي أن يتعلم أطفالنا علم الرياضيات إلى حد أكبر كثيرًا وعلى نحو أعمق كثيرًا مما يحدث حاليًّا في الفصول الدراسية الأمريكية المتوسطة. هذه حقيقة مطلقة. ولكن يجب أن نواجه الحقيقة المؤسفة أن الأطفال يستطيعون ذلك، أما البالغون فلا يستطيعون. كنتيجة لبيولوجيا المخ، الأطفال أذكياء رائعون في تعلم اللغات الجديدة من كل الأنواع. فعصبوناتهم[14] عمليًّا سائلة، تتدفق عبر المواضع المحلية وتتخذ ما هو جديد من الأصدقاء والمشابك العصبية دون أي جهد إلا القليل. إلا أنه مع التقدم في العمر تستقر الخلايا في مكانها، وربما تكتفي بالانشغال بأمور شتى محدودة، وتأخذ كل مادة العصبونات في التصلب ببطء ولكن على نحو لا يُخطئ. بوصولنا إلى أواخر العشرينيات أو أوائل الثلاثينيات من العمر يكون العقل قد تم صنعه: ويكون قد اتخذ موقفه من الحياة، وهو يعرف من أين يتكلم، وأن الالتزام بالرأي ينعكس في بنيته. نستطيع ولا ريب أن نتعلم أشياء جديدة حتى يوم مماتنا؛ ولكن الاحتمال الأرجح أن معظم تعلم البالغين يحدث من خلال المنشور الزجاجي لمهارات مسبقة الوجود. إذا كانت الرياضيات تبدو لك غير مفهومة كالإغريقية فقد تمثل لك النقطتين التاليتين عزاء في هذا: (أ) ولماذا لا تكون كذلك؟ فالكثير من الرموز المستعملة في الرياضيات هي أصلًا حروف من الأبجدية الإغريقية؛ و(ب) إن الرياضيات تبدو كالإغريقية بالنسبة لعدد مذهل من العلماء أيضًا. وكما يتفق فإن الكثيرين من علماء البيولوجيا، والكيمياء والجيولوجيا، والفلك

[14] العصبون: الخلية العصبية وما يخرج منها من تفرعات. (المترجم)

كلهم متواضعون نسبيًّا في الرياضيات. تُعد بوني باسلر بجامعة برينستون واحدة من ألمع النجوم الشابة في مجال إيكولوجيا البكتريا، وقد اعترفت لي بأنها «فظيعة في الرياضيات» وكانت دائمًا هكذا. وتقول: «أستطيع حساب ما بدفتر شيكاتي من أرقام إذا كان معي آلة حاسبة، وأستطيع حساب الكسور، ولكن هذا هو كل ما أعرفه. وبطريقة ما لم يؤثر عليَّ هذا، وهأنذا قد انتهى بي الحال هنا.»

بل حتى علماء الفيزياء الذين لا غنى لهم عن الرياضة، لديهم حدودهم. فاز ستيفن واينبرج بجائزة نوبل لأنه ساعد على تطوير الرياضيات التي دمجت بين قوتين من قوى الطبيعة الأربع الأساسية: القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، حيث دُمجا في حزمة لنظرية واحدة تسمى الكهروضعيفة — وهذا إنجاز لا يمكن التوصل إليه بأن نراجع كراساتنا القديمة عن الجبر في المدرسة الثانوية — ومع ذلك فإن ستيفن واينبرج يقول إنه تحول مؤخرًا من فيزياء الجسيمات إلى علم الكونيات لأن رياضيات فيزياء الجسيمات أخذت تتجاوز قدراته.

على أنه إذا كان التمكن من الرياضيات ليس ضروريا لتقدير العلم أو حتى لممارسته، فإنك لا تستطيع تجنبها، وأنت تشق طريقك خلال أرض العقل العلمي، فتصطدم ببعض من أبناء العمومة في الأسرة الواسعة للرياضة. أحد هؤلاء هو التفكير الكمّي الذي خصص له الفصل التالي، هذا التفكير الذي يجعلك تعتاد مرتاحًا على مفاهيم الاحتمالات والعشوائية، وتتعلم بعض الحيل عن طريق تحليل إحدى المشاكل إلى أجزاء قابلة للتطويع، وأن تُجري بسرعة تقديرًا على ظهر ورقة منديل كوكتيل مبللة لرقم يبدو ظاهريًّا لا يمكن حسابه، كأن تقدر عدد الحافلات المدرسية في مقاطعتك، أو عدد الأفراد الذين يجب أن تتشابك أيديهم ليشكلوا سلسلة بشرية حول الكرة الأرضية، وكم منهم سيغوصون في عرض المحيط ويحسن بهم إحضار سترات الإنقاذ من الغرق، ومواد منفرة طاردة لسمك القرش، ونسخة من سجلات أسنانهم للتعرف عليهم، كإجراء احتياطي؟ من المرجح حقًّا أنك تستطيع أن تجد الإجابة عن هذه الأسئلة، وغيرها من الأسئلة

الغريبة في سجل «الإنترنت» عن الأسئلة الأكثر ترديدًا (FAQs)، إلا أنه دمما يجدر بنا أن نعمل على تشجيعه ورعايته أن نتعود التفكير خطوة فخطوة بأسلوب كمّي، وأن نواجه أي مشكلة مباشرة بدلًا من أن نهرع صارخين إلى البحث «بجوجل». يود العلماء أن يُنظر إلى العلم كمشروع دينامي خلاق وليس كجسد متحجرٍ أو مجموعة متحجرة من الحقائق والقوانين، ويلي ذلك أهمية أنهم يودون أن يتعلم الناس المزيد عن الإحصائيات — فرص الاحتمالات، والمتوسطات، وحجم العينات، ومجموعات البيانات — يتعلمونها بما يكفي لأن يسخروا بثقة من الإحصائيات التي لا تتحرى الدقة. يرى العلماء منطقيًّا أنه بالاستدلال الكمّي السليم قد يتمكن الناس من مقاومة إغواء الحكاية والشهادة الفردية أو رمز (ن) المخادع أو حجم العينة لحكاية «أنا وأصدقائي والبواب وخبير القهوة في حانة الكاريبو». عندما يكون لدينا تقدير أفضل للصفات الكمية، ربما نستطيع آنذاك أن نضع جانبًا، ولو مؤقتا، عناد المخ البشري الذي تطور إلى التركيز على تقلبات السلوك والزلات في قبيلة صغيرة متجانسة بدلًا من التركيز على الكثافات السكانية المخيفة ودوامات تعدد الثقافات التي تميز الحياة في مدننا الحالية بما يفوق الخيال. هناك مبدأ صغير يسمى قانون الأعداد الكبيرة، وهو يعني من بين أشياء كثيرة أنه إذا كانت الجماعة التي تنظر في أمرها كبيرة جدًّا، فإن أي شيء تقريبًا يمكن أن يحدث فيها. الأحداث التي تكون نادرة في النطاق المحدود تصبح ليست مجرد أحداث شائعة بل أحداثًا متوقعة. أحد الأمثلة المفضلة لذلك هو مثل تكرار الفوز باليانصيب، الأفراد الذين يكسبون جوائز كبيرة لمرتين أو أكثر والذين يثيرون دائمًا غمغمات من الروع والحسد والسؤال عن الاحتمالات. يقول جوناثان كويلر أستاذ الاقتصاد بجامعة تكساس: «الأمر المذهل حقًّا سيكون إذا لم يفز أحد مرتين.»

عندما يكون التفكير صغيرًا في مجال واسع نصل إلى إحساس فيه انحراف بالنسبة لما يكون له معنى ولما يحدث مصادفة. جون آلن باولوس عالم الرياضة في جامعة تمبل ومؤلف كتاب «مالا يحصَى» وكتب كثيرة أخرى. وهو يقول: «يتأثر الناس تأثرًا مبالغًا فيه بتوافق وقوع الأحداث معًا». يتلاعب

باولوس بفكرة استغلال بطاقات «بارنوم»[15] للدعاية والتسويق لتوضيح رأيه مع الاستفادة أيضًا ببعض ربح من ذلك. فيقول إنه يستطيع أن يبدأ بإصدار نشرة إخبارية بتنبؤات عشوائية عن سوق الأوراق المالية ويرسلها بالبريد إلى مجموعتين كبيرتين من القراء. ستتلقى إحدى المجموعتين تنبؤًا بأن أسعار السوق سوف ترتفع في الأشهر الثلاثة التالية؛ ويقال للمجموعة الأخرى إن الأسعار ستتجه إلى الهبوط. بعد ثلاثة شهور سوف يرى باولوس كيف أصبح حال السوق، ويوجه نشرة أخباره التالية إلى مجموعة واحدة فقط هي التي تلقت تخميناته الأولى التي صحّت، ويقسم هذه المجموعة مرة أخرى إلى معسكرين يرسل إلى واحد منهما ما يشير بتوقع سوق ترتفع أسعاره ويحذر الآخر من هبوط شديد في الأسعار. مع النشرة الثالثة سوف يستطيع أن يتباهى بأن لديه مجموعة قراء غُربلت إلى عدد أقل ولكنه ما زال له قدره. سيصيح هاتفًا بأنه تنبأ بنجاحٍ بحال السوق في دورتين متواصلتين، ثم يسأل هؤلاء ترى هل تهتم باستثمار ١٠ دولارات لتتلقى مقابلها تنبؤاتي التالية؟ (احتفظ بمشروع باولوس باقيًا في ذاكرتك فيما لو تلقيت من جامعة تمبل أي رسائل مغوية تثير الشك.)

أحد الجوانب الأخرى للاستدلال الكمي الذي يميز منحى التفكير العلمي هو أنه لا بد من أن يتوافر فيه عامل الكمية، بعض مادة ملموسة، دليل ما. العلم يتطلب وجود أدلة: هل يبدو هذا وكأنه — حسن — واضح بذاته؟ ربما يكون هكذا، ولكنه أيضًا قد يكون درسًا يصعب للغاية استيعابه، ويجب أن يتكرر تلقيه المرة بعد الأخرى، كحروف الألف باء اليومية وجدول مندليف للعناصر، وحمض الفوليك للعمود الفقري، والحديد في قلب الأرض. وهو درس يصعب استيعابه لأننا نعشق الآراء. الصفحات التي تقرأ بأكبر عناية في إحدى الصحف هي صفحات الرأي — مقالات التحرير، والأعمدة، والتعليقات، والخطابات المثيرة لجدالات محتدمة التي تأتي من قراء يعيشون في مكان ما من ولاية «السخط الكبرى». الآراء تُمتلك ويُتمسك بها، في السراء

[15] بطاقات على اسم فينياس بارنوم (١٨١٠–١٨٩١م) صاحب عروض سيرك ومسرح، وكان بارعًا للغاية في الدعاية والتسويق. (المترجم)

والضراء، على مائدة الإفطار أو عبر المدونات الإلكترونية. الآراء تجعلنا نشعر بشعور ممتاز. من حقك أن يكون لك رأيك، وأنا لي أن أطلق العنان لرأي. يقول أندرو نول بجامعة هارفارد: «تستطيع في السياسة أن تقول: أنا أحب جورج بوش، أو أنا لا أحب جورج بوش، أو: إني أحب أو لا أحب هوارد دين أو جون كيري، أو شخصية «السيد ماجو» الكاريكاتورية، شخصية الرجل العنيد قصير النظر. لست في حاجة لأن يكون لديك سبب له قواعد لهذا الرأي السياسي. لست في حاجة لأدلة بحيث يستطيع شخص آخر تكرار الوصول لهذه الأدلة لتبرير رأيك. لست في حاجة للتفكير في وجود تفسيرات بديلة قد تجعل رأيك باطلا. تستطيع أن تذهب إلى حجرة الاقتراع وتقول أنا أفضل هذا السياسي أو ذاك وتدلى بصوتك حسب ذلك. أنت لا تحتاج لإبداء أسباب لما تحبه من طعام أيضًا. عندما تطلب طعامًا في مطعم تستطيع أن تطلب إنضاج شريحة لحمك هونًا أو وسطًا أو إنضاجًا جيدًا، وليس من المحتمل أن يقف النادل ليطالبك بأن تقدم الأدلة التي تدعم ذوقك في الطعام، ليس على الأقل إذا كان يريد أن ينال بقشيشًا.»

يستطرد قائلاً: «الناس بكل أسف، كثيرًا ما ينظرون إلى العلم بالطريقة نفسها، أي باعتباره مسألة رأي. أنا أحب أو لا أحب جورج بوش، أنا أومن أو لا أومن بالتطور. ليس من المهم ما هو سبب عدم إيماني بالتطور، ليس من المهم ما يكونه الدليل، أنا فحسب لا أومن به.» أنت أيها التطوري المذهب «تؤمن» بالتطور؛ وأنا «التكويني» المذهب لا أومن به. لك رأيك، ولي رأيي، ولكن يتطلب الأمر من كل منا أن يستند على ما لديه من أدلة، أليس كذلك؟

هذه هي النقطة التي يرجح عندها أن ينفذ صبر أتباع مذهب التطور فيشكلون الآراء عن محاوريهم وقد يختارون أو لا يختارون التعبير عنها. كذلك فإن العلماء يمكن أحيانًا أن يكونوا غاية في القسوة أحدهم مع الآخر. فيبدون السخرية، وينبذون الآراء، ويخطّون التعليقات في التقارير التي يقدمها كل منهم، مثل التعليق الذي يقول: «أشعر بالأسى تجاه ذلك الذي موَّل هذا الشيء الذي يُزعم أنه بحث» أو يقول: «ما كنت لأنشر هذا حتى

ولو في قاع صندوق قمامة.» على أنه مع كل هذه التفاهة الفظة التي تأتي بأقصى ما يلفظ به تطرفًا، إلا أن موقف كلب الهجوم هذا لهو أحد مصادر قوة العلم. الفارق الكبير بين العلم وجوانب أخرى كثيرة في الحياة، يظهر عندما نذكر إجابة جورج دابليو بوش على مواطن ساخط في احتفال بعيد الرابع من يوليو: «ومن هذا الذي يهتم بما تعتقده؟ إن رأيك لا أهمية له. إن آمالك وتوقعاتك الحمقاء عن وجود نماذج أساسية إرشادية جديدة لا أهمية لها. ما يهم هو الأدلة كيفًا وكمًّا.»

يقول إيليوت مايروفيتز عالم البيولوجيا في معهد «كالتك»: «الطريقة التي تريد أن تكون عليها الأمور ليست هي الفارق الفيصل. الحقيقة هي أنه لو سارت الأمور حسب الطريقة التي أردتها، فإنه ينبغي عندها أن تفكر تفكيرًا أعمق في طريقة تنفيذك لتجاربك، لتتأكد من أنه لم يشبها أي تحيز.» العلماء كأعضاء في الجنس البشري، قد ولدوا ليكونوا متحيزين، ومتحيزين بوجه خاص في صف انحيازاتهم الشخصية. وعلى أي حال، فنحن مقيدون بما في داخل جماجمنا حسب المعنى الكامل لعبارة «القدرة على الإحساس»، بكل ما لهذه العبارة من معنى. ليس في استطاعتنا أن نثب بعقولنا بين الأفكار أو أن نقايض عقولنا بأخرى؛ كل ما نفعل هو مجرد التسوق بالنظر. ومن ثم، فأنا أعتقد أني على حق. ومع أن خداع الذات أداة قد تبين مالها من فائدة قصوى في مواقف كثيرة — خاصة عندما تحاول أن تقنع صاحب عمل محتمل بتوظيفك أو أن تجعله يميل للاهتمام بمدى جدارتك إلى حد خارق — إلا أن خداع الذات هذا «عدو للعلم» — حسب كلمات جيرالد فنك عالم البيولوجيا الجزيئية في معهد «ممت».

يقول مايروفيتز: «الذين يكونون منا بغير نزعات فلسفية مبالغ فيها، يؤمنون بأن هناك حقيقة في الطبيعة، إلا أنه قد يكون من الصعب جدًّا إدراكها وفهمها، بسبب كل ما بداخلنا من تحيزات. السبب في أن العلماء ينفقون كل هذه السنين في الدراسة كطلبة جامعيين، ثم كطلبة دراسات عليا، وزملاء ما بعد الدكتوراه، هو أن يتعلموا طريقة التعامل مع التحيزات الشخصية». ينفق العلماء الممتازون الكثير من الوقت وهم يفترضون أنهم

غير صالحين بعد لأي شيء جيد. إنهم أساسًا ضد التعديل السادس للدستور، فيفترضون أنهم مذنبون حتى تثبت براءتهم، أو أنهم تائبون يلتمسون الخلاص. يقول دانييل نوكيرا الكيميائي بمعهد «ممت»: «حتى تؤدي عملك، ينبغي أن تكون أنت الشخص الذي يدحض نفسه معظم الوقت.» ليس من المهم ما يكونه نوع القصة التي ترويها لنفسك أثناء إجراء تجاربك، ولا أي الفروض قد صغتها قبل أن تأخذ في الضغط على زر ماصتك المعملية أو قبل غمرك لأجنة فئرانك بعلامة خضراء ساطعة أُخذت من سمك هلامي. عليك فقط أن تتأكد من الوصول إلى نهاية التجربة بقلب صاف مطمئن. يقول نوكيرا: «الجزء الخاص بالنتائج في ورقة البحث العلمي هو الذي تُبين فيه أنك عالم بارع. هاهنا تقول: لقد أجريت التجربة علي الوجه الملائم، وجمعت البيانات على الوجه الملائم وهي بيانات صحيحة. في قسم المناقشة تتحدث عن دلالات البحث، وقد تبدو ذكيًّا أو غبيًّا، وتروي قصة تثير أو لا تثير الاهتمام. دائمًا أحذر طلبتي أن الواحد منهم قد يبدو أحيانًا غبيًّا أو ذكيًّا، ولكن يجب دائمًا أن يبدو مستقيمًا مخلصًا. عندما أقرأ قسم النتائج في ورقة بحثك يجب أن يكون كل ما في هذا القسم صحيحًا. دارْسي كيلي عالمة أعصاب في كولومبيا، وهي تدق الناقوس بتحذير مماثل لطلبتها: «ينبغي أن تكون بياناتكم صادقة حتى لو كانت قصتكم خطأ.»

كيف يسعى العلماء لتطهير أبحاثهم من التحيز والبيانات السيئة؟ عن طريق الغسل المتكرر في حوض التعميد الخاص بالعوامل المتحكمة. وكما أن من العوامل المهمة الحيوية لتكامل تقرير البحث العلمي أن تعرض النتائج الموجودة أحسن عرض، فإنه يماثل ذلك أهمية أن تقدم عرضًا مقارنًا لكل ما لا يُظهر هذه النتائج: تُجرى العملية (أ) على المتغير (ب) ونحصل على النتيجة (س)؛ ولكننا عندما نعّرض (ب) للعمليات (ج)، و(د)، و(ح)، و(ط)، بل حتى (ى) فإن (ب) لا يتأثر ولا يتزحزح. أراد الباحثون في جامعة بوسطون أن يبينوا أن بيض ضفدعة الشجر الحمراء العين يفقس مبكرًا خصوصًا لتجنب افتراسه بثعبان مقترب، وبهذا يتاح لأفراخ الضفدع غير المكتملة النمو أن تقفز إلى أسفل الماء لتكون آمنة، وحتى يفعل الباحثون

ذلك لم يكن كافيًا تصوير فيلم للبيض غير الناضج وهو يتفجر مفتوحًا عند اقتراب حية من النوع الملتهم للبيض: ففي النهاية من الذي سيقول إن كان البيض يستجيب خاصة لتهديد محدد من الثعبان وليس لأي اضطراب في البيئة المحيطة؟ أثبت العلماء عمليًّا دقة نظام المتابعة في بيض الضفادع بتعريضه لأنواع مختلفة من ذبذبات مسجلة لها سعة متساوية ومن مصادر متمايزة — مثل ثعبان ينزلق أو خطوات إنسان عابر أو تساقط قطرات مطر. لا تعجّل أفراخ الضفدع بالفقس إلا مع صوت اهتزازات الثعبان.

العامل الحاكم المفضل كثيرًا ما يكون عاملًا أعمى: بمعنى أن من يجرون التجربة ينبغي ألا يعرفوا ما هو العامل الحاكم للتجربة وما هو العامل الفعال الحقيقي، إلا بعد أن تظهر كل النتائج، وعند هذه المرحلة يمكن فك شفرة التجربة. أحيانًا يكون تصميم خطة العوامل الحاكمة المناسبة هو أصعب جزء في البحث. عندما أراد الباحثون أن يثبتوا عمليًّا مدى فعالية وخز الإبر الصينية لعلاج شتى العلل — إدمان المخدرات، والصداع، والغثيان — كانوا يتوقون إلى أن تؤخذ أبحاثهم جديًّا. أصابهم الإرهاق من رفض زملائهم بتشنج لكل الممارسات البديلة للعلاج، كما أرهقتهم حقًّا الإشارات الخبيثة «وخز الدجالين». كانوا يطلبون دراسة معماة تمامًا تعمية لأربعة وعشرين قيراطًا، حيث تتلقى مجموعة من المرضى وخز الإبر، ولا تتلقاه مجموعة أخرى، ولا تعرف أي مجموعة منهما أيهما هي التي تعالج وأيهما التي لا تعالج. ولكن كيف تخدع بعض أفراد لبعض الوقت بشأن عملية ملموسة تمامًا مثل الوخز بدبوس؟ كان حل الباحثين ذكيًّا وفي الصميم: ستتعاطى مجموعة من المرضى وخز إبر يدخلونها في نقط الوخز المحددة حسب الأصول الرسمية، بينما تتعاطى المجموعة الثانية وخز إبر يدخلونها في نقط «خادعة» في الجسم يتفق كل المعالجون بالوخز على أنها، كما ينبغي، لا تأثير لها. عندما أُبلغ المرضى بالغثيان والقيء بأن علتهم خفت نتيجة الوخز الذي لا خداع فيه ولم تخف بالوخز الخادع، اضطر حتى أشد المتشككين من الأطباء الغربيين إلى التسليم بأن هذا العلاج القديم الذي يمارس من ٥٠٠٠ سنة قد يكون له فوائده في حدود.

يقول جيرالد فينك: «أكثر ما يثير لي القلق في حياتي كعالِم هو: ماذا تكون العوامل الحاكمة المناسبة؟ ترسل ورقة بحث علمي للنشر، ويلازمك الشك: هل كان ما فعلت سليمًا؟ هل استخدمت العوامل الحاكمة المناسبة؟»

أحد الطرق الأخرى لتأمين البيانات هو ... طريق آخر. عليك تناول المشكلة من زوايا كثيرة لترى إن كنت دائمًا ستنتهي بالوصول إلى روما. أحد أمثلتي المفضلة لفن التخطيط بدقة شديدة ما ورد في تقرير لجين روبنسون عالِم الباثولوجيا العصبية بجامعة إلينوي في «إربانا شامبين». علماء الباثولوجيا العصبية يدرسون البيولوجيا العصبية للسلوك، ودراسات روبنسون تتناول سلوك النحل. يعمل روبنسون في استكشاف الطريقة التي يرتبط بها نشاط الجينات في المخ مع سلوك الفرد، وقد وصل إلى قرار بأن أحسن طريقة لتناول هذه المسائل الكبيرة المتأججة اجتماعيًّا تكون في الميدان المتواضع لمخ النحلة، الذي يتلاءم تمامًا مع بناء جسمها الصغير. سؤال روبنسون هو: كيف تعرف نحلة ما تكونه وما لا تكونه؟ كيف تعرف النحلة الشغالة أن وظيفتها أن تقضى أول نصف من حياتها ذات الأسابيع الستة وهي تؤدي واجبات محددة داخل الخلية مثل رعاية البيض، وتنظيف أقراص الخلية، وتغذية الملكة النهمة؟ وما الذي يحثها عند الأسبوع الثالث من عمرها على أن تتخلى عن واجبات الرعاية والتربية لتغامر بالخروج إلى العالم لجمع الطعام، وتقوم بلا كلل بتجميع الرحيق وحبوب اللقاح، وما يتصادف من مفاتيح تلقيح الزهور؟ ما هي التغيرات التي تحدث في مخ النحلة لتفسر فيما يحتمل هذا التحول الدرامي في مهام حياتها، مع ما يواكب ذلك من قدرة على الطيران لعشرة أميال يوميًّا من غير أن تضل الطريق، وأن ترقص الرقصة الحنون التي تعلن بلا صوت لزميلاتها موقع الزهور التي تستحق أن تطير إليها وتفحصها لامتصاص رحيقها؟

طرح فريق روبنسون خطوطًا شتى من الأدلة التجريبية تدل على أنه قد يكون هناك جين سُمي بجين جمع الطعام (ولم لا؟) هو في القلب من التركيب المهني العام للنحل. أولًا، أثبت العلماء عمليًّا أنهم عندما يُبعدون عن الخلية كل أفراد النحل جامع الطعام، فإنهم بهذا يجبرون بعض أفراد

النحل الراعي صغير السن على اتخاذ واجبات كسب العيش قبل الأوان، وعندها يبرز فجأة جين جمع الطعام داخل خلايا أمخاخ هذا النحل المحاصر بضيق العيش. ثانيًا، بيّن العلماء أنهم عندما يغذون النحل صغير السن بمحلول سكر أضيفت له مادة كيميائية يُعرف أنها تنبه اصطناعيًّا نشاط جين جمع الطعام، فإن سكان الخلية المستقرين بها يأخذون فجأة في المغامرة بالخروج، وقد تهيئوا قبل الأوان لجمع الطعام من براعم الورود. وأخيرًا، عندما أعطى الباحثون لأفراد النحل الصغير السن نوعًا آخر من مادة كيميائية منبهة تفشل في تنشيط جين جمع الطعام، ظل أفراد النحل مقيمين بالخلية، بما يثبت عمليًّا أن ما ينجح في حيلة التنبيه ليس مجرد أي مادة كيميائية يدفع بها.

ظل هذا الاكتشاف متماسكًا في كل خيوط أدلة التجارب، وكل ما يقابلها من تجارب العوامل الحاكمة. ما لم يكن هناك إلهاب لجين جمع الطعام حتى يعمل، فإن النحلة لا تتزحزح عن الخلية. ربما يكون هذا اكتشاف متواضع ولكنه نُحت وصقل حتى أصبح تميزًا فائقًا للنحل.

العلماء يطالبون بالدليل، وهم لا يرحمون الباحث الذي يقدم عرضًا لمسألة مهمة فيه بيانات ضعيفة. تقول لوسي جونز: «هذه عملية مواجهة بطريقة عدوانية جدًّا. الصراع جزء من الواقع اليومي لطريقة أداء العلم». لقد سمعت علماء يقهقهون عاليًا أثناء إلقاء حديث، في حين أنه كان واضحًا تمامًا أن المتحدث لم يكن يروي فكاهة من نوع ما قيل عن ويرنر هايزنبرج. ورأيت علماء تطلق عليهم النيران وقد شحبت وجوههم مبيضة وأخذوا يرتجفون وقد كادوا يلفظون ما في جوفهم، وإن كنت لم أر قط أحدهم وهو يبكي فوق المنصة؛ الجرائم في المجتمع العلمي نادرة بما يدهش، إلا أن الانتحار بكل أسف ليس نادرًا. قد تؤدي الخلافات العلمية إلى تغطية مناخ البحث العلمي بضباب فيه تعمية تضفي على المشروع العلمي جوًّا من التمسك المتطرف بالنظريات إلى حد يجعل التطبيق غير عملي، جوًّا لا يسمح بالإبداع، والأفكار الجديدة، ولا بأي شيء قد يثير الاضطراب في الوضع الراهن بما فيه من رضا عن الذات. وهذا يغذي معادلة أينشتين المألوفة

«الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء»، ولكنه يغذيها بطريقة هوليود التي تجعل المعادلة خاصة ببطل أفلامها من العلماء، ذلك العالم العبقري الذي يقاتل وحيدًا ضد حكومة دينية وهو مذعور محاصر، ولا يؤمن به إلا حبيبته التي تذكّره بألا ينسى أن يستحم كل أسبوع على الأقل. والآن، فإن من الحقيقي أنه عندما يكون عند شركة أدوية دواء في قائمة أحسن المبيعات ويتعرض للخطر والمنافسة، فإن علماء الشركة يمكن أن يسارعوا على نحو يثير الشك إلى رفض الدراسات التي تبين أن منتجًا منافسًا أكثر رخصًا وهو مماثل في جودته أو أفضل من دواء الشركة الأثير الذي يجلب البلايين. وحتى من غير إغواء الأرباح الكبيرة، كثيرًا ما يضخم علماء الأبحاث من ذاتهم تضخيمًا ربما يكون أحسن ما يقاس به هو وحدات الفرسخ الفلكية؛ وكنتيجة لذلك قد يدافع العلماء عن أبحاثهم ووجهة نظرهم لزمن طويل بعد ظهور بيانات منافية لها. يتذكر دافيد بالتيمور أمر عالم في معهد «ممت» توفي منذ سنتين لا غير، كان واحدًا من آخر الباقين من نقاد نظرية نشأة الكون التي أصبحت الآن النظرية التي يتفق عليها كل علماء الفلك تقريبًا بل وكل المجتمع العلمي. يقول بالتيمور عنه: «لم يكن يؤمن بنظرية الانفجار الكبير، وكان يتحدى الجميع بشأنها.»

مع ما يوجد من غرور وأفكار نظرية عتيقة، نجد أن العلماء يتشككون بشدة عند سماع نتائج جديدة مذهلة، ولهم في ذلك أسباب قوية: الكثير من هذه النتائج تكون سيئة، بل أكثر شناعة من النفايات — نتاج فيه على الأقل محاولة لإظهار الأمور بصورة أفضل كثيرًا مما هي عليه. يقول مايكل ويجلر بمعمل «كولد سبرنج هاربور»: «في معظم الوقت عندما تصل إلى نتيجة مذهلة تتعارض مع البديهة، فإن هذا يعني أنك قد تلاعبت بالتجربة.»

لدى الناس انطباع خاطئ بأن أعظم الثورات في تاريخ العلم تقلب المعرفة السائدة رأسًا على عقب. الحقيقة أن معظم الأفكار العظيمة تصنف عمومًا بأنها من الفئة العامة للأفكار السابقة ولكنها أكثر شمولًا، وتبتلعها كلها وتغدو أكبر منها تأثيرًا. هكذا فإن ألبرت أينشتين لم يبرهن على أن إسحق نيوتن كان على خطأ. وبدلًا من ذلك فإنه أوضح أن نظريات

نيوتن عن الحركة والجاذبية غير كاملة، وأن هناك حاجة لمعادلات جديدة لتفسير سلوك الأجسام في الظروف المتطرفة، مثلما يكون الحال عند انتقال الجسيمات الضئيلة بسرعة الضوء أو ما يقرب منها. جعل أينشتين مجال البحث أكثر رحابة ورهافة ومطرزًا بالغرائب في المكان والزمان. على أن قوانين نيوتن للحركة لا تزال صالحة للتطبيق عند تحديد المسارات المنحنية اليومية للأرض وهي تدور حول الشمس أو المسار المنحني لكرة البيسبول وهي تندفع تجاه الضارب؛ أو مسار قرط جديد تمامًا ينزلق إلى أسفل نحو بالوعة.

يقول ألكس فيليبنكو عالم الفلك في بيركلي: «قواعد العلم صارمة تمامًا. أتلقى كل يوم رسائل من أفراد لديهم أفكار تبدو وكأنها مثيرة للاهتمام، ولكنها منقوصة إلى حد رهيب. أقول للواحد منهم: انظر، عليك أن تصوغ اقتراحك بطريقة أكثر تماسكًا بكثير، بطريقة لا تشرح فقط الشيء الواحد الجديد الذي تهتم به، وإنما تشرح أيضًا أنه يتوافق مع كل شيء آخر نعرفه. يجب أن تكون أي فكرة ثورية جديدة بحيث تشرح على الأقل الكيان المعرفي الموجود وكذلك أيضًا الأفكار التي نتقبلها من قبل.»

نادرًا جدًّا ما يحدث أن يقدم العلماء فكرة ثورية في صيغة ناضجة شاملة تفرض نفسها بقوة إلى درجة أن يتقبلها حتى من يكونوا متشككين. أحد أمثلة ذلك ورقة البحث الموجزة الشهيرة التي نُشرت في عدد أبريل ١٩٥٣ من مجلة «نيتشر» (الطبيعة) التي كتبها جيمس واطسون وفرنسيس كريك، ليصفا تركيب حمض دي أوكسي ريبونيوكلييك أو «الدنا» ذلك التركيب المنسق على نحو لا يقارن. ظل أعظم علماء الوراثة لسنين كثيرة مقتنعين بأن البروتينات، وليس الأحماض النووية، هي التي تحمل المعلومات الوراثية داخل الخلية. وقد كان منطقهم في ذلك بسيطًا؛ فالبروتينات معقدة، إنها الجزيئات الأكثر تعقيدًا فيما عرف داخل الخلية. المعلومات الوراثية تبدو أمرًا معقدًا إلى حد بعيد. ترى، أي شيء يحمل ما هو مركب أفضل من شيء آخر مركب؟ إلا أنه عند تأمل روعة اللولب المزدوج، والبراعة التي تزدوج بها الوحدات الأربع الفرعية في السلم الحلزوني، والسهولة التي يعمل بها

أحد خيوط الجزيء كقالب صب لخلق نسخة جديدة تمامًا من دنا تورث في خلية جديدة؛ كل هذا جعل علماء الوراثة يدركون كيف أن قصة الحياة بأكملها يمكن أن تُروى في شفرة دنا المتضمنة بصمت هكذا.

هناك رائعة أسطورية أخرى جرت في اجتماع لعلم الأرض في ستينيات القرن العشرين، عندما طرح الباحثون الأدلة على تكتونيات[١٦] ألواح الأرض، تلك النظرية التي تشرح نشأة القمم الشاهقة والوديان السحيقة، والمنافذ البركانية التي تلفظ الغاز والأبخرة وتدفقات حمم اللافا المتوهجة، وغير ذلك مما ورد في أهم الصور في معرض «أنسل آدمز» ومما يحيط بنا في كل مكان. حضرت المشرفة على أطروحة لوسي جونز هذا الاجتماع وتحدثت معها عن كيف أن العرض كان خارقًا للمعتاد. وقالت لها: «كانت الأدلة ساحقة للغاية وتفرض نفسها بقوة بالغة لدرجة أن أحدًا لم يستطع المجادلة فيها.» ثم أضافت: «بل الأكثر إدهاشًا أن أحدًا لم يكن يريدها.»

على أن هذا النوع من الانتصارات الراسخة كالصخر غير نمطي بالمرة. فالأكثر شيوعًا أن العلماء ينتقدون ويعترضون أو يطالبون بعوامل تحكم أفضل، أو يقدمون تفسيرًا عكسيًّا للنتائج، أو يكتبون تعليقات ازدرائية على هوامش كتاب نظير لهم. والأكثر شيوعًا أن يكون تقدم العلم في شكل نوبات تشنجية متقطعة، وأن تكون نتائج التجارب الفردية متواضعة في حجم مخ النحلة. ليس هذا باتهام ضد العلم. تكمن قوة العلم في أنه يريد بالضبط أن يهاجم مشكلة كبيرة بأن يجزئها إلى أجزاء صغيرة كثيرة، وإلى اعتناقه لتلك الممارسة التي تعرف بالاختزالية والتي يوجد من يعيبها على نحو فيه ظلم. طريقة التناول بالتجزئة تتطلب في الوقت نفسه أن يكون العلماء حذرين حذرًا بالغًا كثيرًا ما يكون على نحو شاق مجهد، وأن يقاوم العلماء أن يصنعوا من البيانات أكثر مما تصنعه البيانات بنفسها — وذلك مهما تعرضوا للضغط من قسم العلاقات العامة في جامعتهم أو من الصحفيين

[١٦] التكتونيكا أو التكتونية فرع الجيولوجيا الذي يدرس المعالم التركيبية الكبرى للأرض وأسبابها. (المترجم)

التواقين للأخبار. سيكون من الغش أن يسلك العلماء غير ذلك. سيكون من الغش أن يعلنوا أن العلم ينجح بمجرد أن يعزل المتغيرات، وكأنها في كل مرة وتد واحد ملون في لعبة «العقل الموجه»؛ ثم بعد ذلك يقررون، عندما تحصل على نتيجة ضعيفة، أنك في داخلك من أنصار المذهب الكلي، وأن هويتمان كان له وجهة نظره القوية في القول بأن الكون موجود في كل نصل لعشب. أفضل العلماء لا يبالغون في طموحهم أو محاولة التأثير في العامة، أو هذا ما يفعلونه على الأقل قبل أن يصلوا إلى التقاعد والجلوس مرتاحين في كرسي الأستاذ غير المتفرغ، وهي فترة في حياتهم يشار إليها أحيانًا بأنها وقفة للتفلسف.

الكراسي بالنسبة للعلماء العاملين كلها كراسٍ متنقلة من النوع المنطوي: موجودة هنا اليوم، وفي دورة المياه غدًا. العلماء متعودون على عدم اليقين وعلى الإقرار بقلة ما يعرفونه. الحقيقة أنهم ليسوا فقط متعودين على عدم اليقين — بل إنهم يزدهرون وينجحون به. هذه رسالة أخرى من الرسائل الجوهرية التي يحب العلماء أن يتشرب بها الناس حتى النخاع أو حتى الخلايا الجذعية إن أمكن: رسالة أن العلم هو على نحو متأصل مشروع لا يقيني، وأن عدم اليقين هو — في مفارقة — مصدر آخر من مصادر قوة العلم. يقول آندي إنجرسول عالم الفلك في معهد «كالتك»: «نحن ننطلق بحثًا عن أنماط جديدة، وقوانين جديدة، و«لايقينيات» جديدة، وبينما نحن نبحث ونكتشف أشياء جديدة، ونتجادل حول ما نراه، فإننا نعبّر عن خلافاتنا في الرأي، ويكون ذلك أحيانًا بعنف يجعل الجمهور في بلبلة. ألا يعرف العلم الإجابة عن كل شيء؟ حسن، نعم، قد يتم في النهاية الوصول إلى توافق جماعي حول مشكلة معينة. ولكننا بحلول ذلك الوقت، نكون قد انتقلنا بالفعل إلى عدم اليقين التالي، المجهول التالي. لا مجال لأن تتلكأ.» الجهل نعمة وفيه دائمًا عذر. يقول سكوت ستروبل: «إن ما يدفع العلماء هو نقص المعلومات وليس وجود المعلومات.» كثيرًا ما تكون الموافقة بالإجماع مبنية على اتفاق حقًّا، كما هو الحال على نحو حاسم فيما يتعلق بنظرية داروين للتطور بالانتخاب الطبيعي (سيرد لاحقًا المزيد عن هذا المبدأ البيولوجي

التنظيمي العميق الأهمية، وعن حلقة سيرك المشاكل المصطنعة التي تحيط به)، وكما هو على نحو صارم في حالة الاحترار الكوكبي. مع كل الحديث عن أوجه «الخلاف» فإن الغالبية العظمى من علماء المناخ يتفقون على أن متوسط درجات الحرارة فوق الأرض يتصاعد، وأن بعضًا من هذا الارتفاع، إن لم يكن كله، ناتج عن الأنشطة البشرية، وخاصة الحرق الإجباري للمواد القابلة للاحتراق لتزود بالطاقة كل جانب من الحياة المعاصرة، بما في ذلك الحاجة لمزيد من تكييف الهواء.

في بعض الأحيان الأخرى نجد أن التوافق الجماعي العلمي لا يرقى إلا لما يزيد قليلًا عن لاأدرية جماعية. لنأخذ مثلًا مسألة ما إذا كانت الملوثات الكيميائية تساهم في تسبيب سرطان الثدي. من أحد الجوانب تبين أن الكثير من المواد الكيميائية في الصناعة تسبب أورام الثدي في حيوانات التجارب؛ العوامل الوراثية لا تكفي لتفسير معظم الحالات البشرية من المرضى، ومعدلات سرطان الثدي تختلف اختلافًا كبيرًا من دولة إلى أخرى، وكل هذا يطرح أن العوامل البيئية المسرطنة تسهم بطريقة ما كسبب للورم الخبيث. ومن الجانب الآخر أُجريت الدراسة بعد الأخرى بحثًا عن صلة تربط السرطان البشري مع المبيدات الحشرية، أو محطات القوى، أو غير ذلك من عوامل بيئية معينة ضارة، وفشلت هذه الدراسات في أن تكشف عن أي صلة مقنعة، بما خلف معظم العلماء وهم إما متشككون حول إسهام الملوثات الكيماوية في سرطان الثدي أو ملتبسون تمامًا بشأنها — الأمر الذي يزعج ناشطي البيئة كثيرًا.

يقول تشوك ستايدل عالم الفلك في معهد «كالتك»: «لسنا نريد أن يظن الناس أن العلم فكاهة، وأننا لا نعرف شيئًا. إلا أن الحقيقة أن عملية الوصول إلى توافق جماعي عملية فيها الكثير من التخبط وتتطلب التغلب على عدد هائل من العقبات. كثيرًا ما يحدث عند تقديم النتائج للجمهور العام أنها تُجعل بحيث تبدو أكثر متانة ورسوخًا مما هي عليه.»

العلم فيه لا يقين لأن العلماء في الحقيقة لا يستطيعون إثبات أي شيء على نحو لا يقبل التفنيد ويتجاوز أي شك ولو في حَجم جسيم

النيوترينو، بل هم حتى لا يحاولون ذلك. بدلًا من هذا فإنهم يحاولون استبعاد الفروض المعارضة، حتى يغدو الفرض الذي يفكرون في أمره هو أرجح تفسير، بمدى من هامش خطأ صغير جدًّا جدًّا — كلما كان أضأل كان الحال أفضل. تقول دارْسي كيلي: «العلماء العاملون بالعلم لا يفكرون فيه على أنه هو «الحقيقة» إنهم يفكرون فيه كطريقة «لتقريب» الحقيقة.» والعلماء عندما يتقبلون الطبيعة التقريبية والمؤقتة لما يعملون في بحثه، فإنهم يتركون المجال للتحسينات المنتظمة، وهي بخلاف الكثير من التحسينات التي ندخلها على نظم تشغيل حواسيبنا، تحسينات تكاد تكون دائمًا تعديلات على النموذج السابق. وعلى سبيل المثال، بعد أن قرر العلماء أن «دنا» — وليس البروتينات — هو الذي يعمل كحارس الطبيعة المبرز للمعلومات الوراثية، أخذوا يرون بعدها أن دنا ليس الحارس الوحيد لشفرة الحياة، ويكاد يكون مؤكدًا أنه ليس الحارس الأصلي. وأخذوا تدريجيًّا يزيدون من احترامهم لـ«رنا» RNA [١٧]، ذلك الجزيء الذي أُهمل ذات يوم باعتباره مجرد ورقة بيروقراطية مشبوكة للعمل بين دنا الإمبراطوري الذي يصدر الأوامر للخلية، وبين البروتينات الكادحة التي تؤدي عمل الخلية دون توقف. كشف العلماء عن مواهب كثيرة في رنا تجعل منه فيما يرجح السلف لدنا، رنا الوعاء البدائي للوراثة والاستمرارية في زمن يعود إلى نشأة الحياة؛ ولم يحدث إلا لاحقًا أن تخلى رنا عن دوره النسخي والتكاثري لخيوط دنا الأقوى.

جمع العلماء في وقت أقرب الأدلة على أن بعض البروتينات التي تسمى بريونات، يمكن أن تسلك في النهاية مثل دنا، وتتناسخ متكررة في أمخاخ البقر المصاب بمرض الجنون وكذلك في أمخاخ تعساء الحظ من البشر آكلي هذا البقر. أدى اكتشاف البريونات، وما لها من إمكانات لأن تكون معدية، وناسخة لنفسها؛ إلى أن فاز ستانلي بروزينر بجائزة نوبل في ١٩٩٧م.

لا يؤدي أي من هذه الاكتشافات إلى تقويض قوة وأهمية الاكتشاف الأصلي لواطسون وكريك. يقول دافيد بالتيمور: «إن مجرد اكتشاف أن رنا

[١٧] رنا RNA، حامض ريبو نيوكلييك، وهو موجود في النواة والسيتوبلازم. (المترجم)

والبروتينات يمكن لها أن تحمل المعلومات في بعض الظروف ليس بالسبب للإقلال من الأهمية المحورية لدنا باعتباره الحامل الأساسي للمعلومات الوراثية. كلما زادت مفاهيمنا دقة ورقيًّا تغدو المطلقات أقل اتصافًا بأنها مطلقة.» وبكلمات أخرى، فإن العلماء بموافقتهم على أنهم لا يستطيعون أبدًا «معرفة» الحقيقة، وإنما يستطيعون فحسب تقريبها، فإن هذا ينتهي بهم لأن يظلوا أبدًا يتقدمون تدريجيًّا في اقتراب أكثر من الحقيقة. هذه هي العملية الجراحية لتقوية حالة عدم اليقين المزمنة.

على أنه بالنسبة لمن يوجدون خارج غرفة العمليات، فإن كل هذا الشجار، والتردد، والتصحيحات، والحواشي يمكن أن تجعل العلم يبدو كزوج من نعال صندل صيفي، يتقلقل ويتقلقل في كل اتجاه! يقولون لنا في إحدى اللحظات إن علينا الإقلال من الدهون، وفي اللحظة التالية يكونون ضد حبوب الغلال. يقولون لنا ذات مرة إن أفضل شيء نضعه فوق الحرق هو الزبدة. ثم يدركون حقيقة أن الزبدة تجعل الحرق ينتشر؛ الأفضل أن نستخدم بدلًا من ذلك بعض الثلج. يجب على النساء كلهن أن يتعاطين علاج إحلال الهرمونات ابتداء من سن الخمسين فصاعدًا. ثم بعدها، يجب على النساء كلهن أن «يتوقفن» عن تعاطي علاج الهرمونات الآن فورًا ولا يذكرن أبدًا هذا الأمر ثانية. ألم يتنبأ العلماء في ستينيات القرن العشرين بأن القنبلة السكانية على وشك الانفجار، وأننا سنموت جميعًا بالجوع أو ثورة الجماهير؟ والآن نجد أن علماء السكان في الأمم المتقدمة قلقون من أن النساء لا ينجبن بالسرعة الكافية لإعادة إحلال قاعدة دافعي الضرائب وأننا لن نجد أحدًا ليدفع في الغد فواتير حساب دور الرعاية. لماذا ينبغي أن نصدق أي شيء مما يقوله العلماء؟ وفيما يتعلق بذلك أيضًا لماذا ينبغي أن نفعل أي شيء يقترحه العلماء، مثل الانشغال بالتفكير حول تغير المناخ الكوكبي، والاستنفاد المحتوم لوقود الأرض الأحفوري،[١٨] وتكييف سياستنا للطاقة حسب ذلك؟ هذا ما يقوله العلماء لنا اليوم. ولكني لو

[١٨] الوقود الأحفوري: وقود ينتج في الأرض عن عملية التحجر، مثل البترول والفحم والغاز الطبيعي. (المترجم)

تمسكت بسيارتي «الهامر» لزمن أطول، فربما سيقرر العلماء أن أدخنة عادم السيارات الكثيرة التي تتصاعد في سحب كالريش لهي في النهاية مفيدة للبيئة!

هذه إحدى المشاكل الكبرى في علاقة العلم العامة بالجماهير. كيف توصل فكرة الحاجة إلى عدم اليقين في العلم، والدور الحاسم الذي تلعبه في دفع العلم قدمًا والإبقاء على رقي معاييره، دون تقويض مصداقيته؟ كيف يمكننا تجنب إغراء اتباع المذاهب الدوجماتية أو العقيدية هي واليقينيات دون المخاطرة بأننا سنكون على غير علاقة بالموضوع؟ يقول ديف ستيفنسون: «الناس في حاجة لأن يفهموا أن العلم دينامي وأننا بالفعل نغير آراءنا. علينا أن نفعل ذلك. هذه هي الطريقة التي يؤدي بها العلم وظيفته.»

ويضيف قائلًا: «يتضمن التفكير النقدي في جزء منه أن نفهم أن العلم لا يتناول المطلقات. ومع ذلك يمكننا أن ندلي ببيانات قوية للغاية واحتمال صحتها كبير.»

إحدى حيل التفكير النقدي هي إظهار تعارضه مع السخرية، التي يتفق أنها عندي حالة من أكثر الحالات العقلية إراحة وأقل ما يرحَّب به من هذه الحالات، الساخرون يرفضون كل ما يقدم، والرؤية لا تُرى، والبيانات لا تفحص. أتقول دواء آخر يشفي أورام الثدي في الفئران؟ قل هذا لمامًا. حفرية لنوع جديد من الديناصور استخرجت من الأرض؟ أستطيع أن أسمع ستيفن جاي جولد يدمدم متذمرًا من العالم الآخر. الديناصورات أصبحت موضوعًا مستهلكًا، المبادرة بالسخرية مسبقًا لها جذورها في عدم الإحساس بالأمان، أو في وجود نزعة دفاعية، أو مزاج كئيب، أو مجرد الكسل؛ أيا ما يكون سببها فإنها غير مفيدة.

تعمل ديبورا نولان بجامعة كاليفورنيا في بيركلي، وهي تلاقي السخرية باستمرار من الطلبة أثناء مقررها التمهيدي للإحصائيات — الاندفاع كيفما اتفق، الكورس العارف بكل شيء. وهي تواجه السخرية بهدوء، وتكافح لأن يحل مكانها الفكر الواقعي المثابر. في كل دورة دراسية تعرض نولان على طلبتها حكايات صحفية تصور العديد من الدراسات الطبية، أو العلمية،

أو الاجتماعية: هل ينبغي إسعاف ضحايا جروح إطلاق الرصاص بواسطة المساعدين الطبيين في عربة الإسعاف، عن طريق أدوية تحقن داخل الأوردة، أم الأفضل الانتظار حتى يصل الجرحى إلى المستشفى؟ هل يكون أداء الجراح أفضل وهو يستمع إلى الموسيقى في غرفة العمليات أم لا؟ هل يكون للصحة العقلية للأم تأثير أكبر في تفاعلها مع طفل وليد أم في تفاعلها مع طفل يتعلم المشي؟ تسأل نولان الطلبة عن تأثير المقالات فيهم. بصرف النظر عن مادة الموضوع، أو عما إذا كان هؤلاء الطلبة يتخذون مادة دراستهم الرئيسية في العلم، أو في المواد الأدبية، أو إدارة الفنادق، فإن استجاباتهم في أول الأمر تكون متماثلة: سخرية متزامنة. وهم يصرون على القول بأنهم لا يمكن أن يصدقوا ما يقرءونه في الصحف. تسألهم نولان بالضبط عما لا يؤمنون به في هذه القصص. ويفحص الطلبة المقالات ثانية، بتدقيق أكثر في هذه المرة. حسن، الأمر لا غير هو ... لماذا «ينبغي» أن أصدقها؟

تعرض عليهم نولان بعدها الدراسات الأصلية بالدوريات العلمية التي تأسست عليها قصص الصحيفة، وتأخذ هي والطلبة في تحليل الدراسات منهجيًّا. فيفكرون من هم الأفراد موضوع البحث، وهل قُسم الأفراد المساهمون فيه إلى مجموعتين أم أكثر، والسبب الذي تُخصص على أساسه كل مجموعة، وكيف أجريت المقارنة بين المجموعات. ويناقشون أوجه القوة والقصور في الدراسة، وما يرونه السبب في تصميم الباحثين لها كما فعلوا، وما الذي كان يمكن للطلبة أن يفعلوه بخلاف ذلك لو كانوا يجرون الدراسة بأنفسهم. بعد أن تزداد معرفة الطلبة هكذا بهذه النظرة الذكية إلى بواطن الأمور، يعيدون قراءة قصص الصحيفة، ليروا إلى أي مدى نقل المحققون الصحفيون جوهر الدراسات نقلًا صحيحًا.

تقول نولان إن الطلبة في معظم الوقت يشعرون بالإعجاب ويقدرون أن المحققين في النهاية قد أنجزوا مهمتهم، وقد أدهشني هذا التغيير الجوهري في اتجاههم حتى إني جعلتها تكرر كلماتها ببطء ووضوح مباشرة في جهاز تسجيلي.

ما يتعلق أكثر بموضوعنا هو عندما يقع الطلبة على أمثلة من السخف أو الحماقة، ويستطيعون إيضاح السبب في شعورهم بعدم الرضا. تقول نولان: «لقد بدءوا وهم يتشككون كثيرًا في كل شيء يقرءونه، من غير أن يعرفوا تمامًا سببًا لذلك. ولكنهم بعدها كمفكرين ناقدين، أمكنهم دعم تعليقاتهم وهواجسهم بوصف دقيق لما كان في الدراسة الأصلية ولما حذف منها.»

أحببت أيضًا طريقة بيس وارد لتحويل طلبتها من السخرية الهازئة إلى الدقة التشخيصية. وارد أستاذة لعلوم الأرض في جامعة برنستون، وفي كل عام تطلب من طلبتها أن يختاروا هاجسًا مزعجًا لينزعجوا به. فتطلب منهم وضع سؤال يدور حول شأن يهمهم في حياتهم اليومية، عادة شخصية، أو انغماس ذاتي في أحد الأمور، أو طعام مفضل ربما سمعوا أو قرءوا تقريرًا سلبيًّا عنه. مهمتهم هي أن يكتشفوا ما إذا كان ينبغي حقًّا أن ينزعجوا بهذا أم لا؟ ما مدى احتمال الخطر الذي أتعرض له إذا واصلت الأكل أو التصرف كما أفعل، وكيف يقارَن هذا الخطر بأوجه السلوك الخطرة الأخرى التي أشارك فيها طوعًا أو عن ضرورة؟ أو هل ينبغي أن أشعر بالذنب بصدد نزواتي المترفة الصغيرة لأنها ربما تؤذي الآخرين، أو أنها تسيء إلى البيئة إساءة لا أستطيع تبريرها تمامًا؟

تقول وارد: «أقول لهم، هيا اختر شيئًا لك علاقة به، وربما يحدث أحيانًا أن يسبب لك ضيقًا في الخلفية من عقلك. الإسراف في شرب القهوة، أو تناول حبوب منع الحمل، أو أكل شطائر التونة، أو مباراة للوثب معلقًا بحبل من المطاط. الفكرة هي النظر في الأدلة وعمل تقدير لاحتمالات الخطر.»

فيما يتعلق بمعظم هذه الأوجه من القلق، فإن النقط المهمة لقاعدة بياناتها، عوامل القلق، هي جميعها أمور يتاح التوصل إليها على الإنترنت. وكمثال، هناك صفحة على ويب عنوانها وكالة الحماية البيئية، تقدم ما يسمى الجرعات المرجعية التي تتعلق في الواقع بأي مادة كيميائية سامة يرجح أن تلاقيها — التقديرات العلمية لكمية المادة الكيميائية التي يمكن أن تتعرض لها دون معاناة أي ضرر. ستجد هنا متوسط تركيز الزئبق في

تونة «شارلي» مقدرة بعدد ملليجرامات المادة السامة لكل كيلو جرام من السمك. ستجد أيضًا مقدار الزئبق الذي يستطيع الفرد أن يتعاطاه بأمان مقدرًا بملليجرامات الزئبق لكل كيلو جرام من وزن الجسم، يتعاطاها المرء آمنًا بلا حاجة إلى القلق من ظهور أعراض من الآلام المبرحة، ونزيف اللثة، والتورم، والعمى، والغيبوبة. ثم حسن، يكفيني أن أتناول سلطة الجرجير، وشكرًا.

أو دعنا نقل مثلًا إنك قلق فيما يتعلق بالمخاطر النسبية لتقليم وصبغ أظافر اليد (المانيكير) أسبوعيًّا، وهو ما كان يثير قلق إحدى طالبات وارد. عندما تكون في صالون للأظافر، سوف تستنشق كل الأدخنة المتصاعدة من مواد طلاء الأظافر، والمذيبات التي تزيلها، وقد أحاط بك جو فيه حزمة من الروائح المثيرة بدرجة أكثر هونًا من روائح بيت الفيل في حديقة الحيوان القومية. ولكن هل الروائح الكريهة مؤذية للصحة بالضرورة؟ ستكتشف في صفحة وكالة الحماية البيئية على الويب أن مادة طلاء الأظافر ومزيل الطلاء تحويان «التولوين»، وهو مادة مستخلصة من البترول لها سمّية متوسطة، ويتفق أيضًا أنها متطايرة بدرجة متوسطة — بمعنى أنها تتبخر بسهولة في الهواء الذي سرعان ما ستستنشقه. تقدم وكالة الحماية البيئية الأرقام أيضًا عن تركيزات التولوين في أماكن العمل المختلفة، بما في ذلك صالونات الأظافر. تستطيع أن تجمع من أماكن أخرى على «الإنترنت» نتائج أبحاث لمسح عملية الاستنشاق، لتعرف كمية الهواء الذي يتنفسه الشخص المتوسط خلال ساعة من الزمن، وهذا يقارب الوقت الذي ستقضيه في مهمة مثيرة بالمعنى الحرفي كمهمة مراقبتك لجفاف الطلاء. بعد أن تحلل هذه الإحصائيات هي وغيرها، يمكنك أن تستنتج كما فعلت الطالبة الشابة، أن جلساتها الأسبوعية للمانكير هي إلى حد معقول ليست مؤذية، ولكنها لن ترغب في العمل في صالون أظافر في نوبات عمل من عشر ساعات، وأنها ربما ينبغي أن تمنح بقشيشًا كبيرًا حقًّا للنساء العاملات به.

إحدى العقبات المذهلة الأخرى التي تعترض التفكير علميًّا أننا كثيرًا ما نعتقد أننا نفهم من قبل طريقة عمل أشياء كثيرة، خاصة الأشياء البسيطة

التي يفترض أننا تعلمناها في إحدى المراحل ذات التأثير طويل الأمد التي لم يتجاوز التقدير فيها رقمًا واحدًا. وحتى في غياب أي توضيح محدد لأي من المشاكل العلمية التي تؤرق الصغار عن طريق أحد الوالدين، أو مستشار في المعسكر، أو الأستاذ في جزيرة جليجان،[١٩] ينمو لدينا استيعاب حدسي للحقيقة المادية، أي مجموعة من تفسيرات واقعية تبدو معقولة لتفسير ظواهر الحياة اليومية: لماذا يكون الجو حارًا في الصيف وباردًا في الشتاء، أو ماذا يجرى عندما نرمي كرة في الهواء. أحيانًا تكون هذه المفاهيم الحدسية مستقرة في راحة في أمخاخنا بحيث لو غدت تلك الكرة التي رُميت بيانو كاريكاتيريًّا يقع فوق رءوسنا، فسوف ننهض واقفين في دوار مثل الذئب الكوميدي «وايل» في أفلام الكرتون، وننفض عن أعيننا الصور التي تومض من شبكيتنا المستثارة بالضغط، ونعود ثانية إلى نفس خططنا المضللة لمتابعة طائر الجواب السريع بإرشاداته المتكررة.

نحن لدينا نماذجنا عن الواقع الفيزيقي التي رعيناها بحب وكثيرًا ما تكون خاطئة، وقد أجرت سوزي كاري، أستاذة علم الأعصاب المعرفي في هارفارد، دراسة لاستكشاف الطرائق التي يمكن بها لهذه النماذج أن تفسد فهمنا وتعوق قدرتنا على التعلم. وهي تستخدم مثال الكرة التي تُقذف في الهواء ثم تعود لتسقط إلى الأرض. تقول كاري: لنفرض أنك رسمت صورة لهذا المسار المنحني في شكل سلسلة من الكرات في قوس شاهق يمثل الكرة وهي ترتفع إلى أعلى، وإلى نقطة المنتصف في الهواء، ثم العودة إلى أسفل ثانية. تطلب من الناس بعدها أن يرسموا أسهمًا تبين نوع القوى التي يرون أنها تفعل مفعولها في الكرة أثناء مسارها — أسهم تبين شدة القوى واتجاهها. ستنتظر الأغلبية العظمى من الأفراد إلى الصورة ويرسمون أسهمًا لقوة كبيرة تشير إلى أعلى أثناء اتجاه الكرة إلى السماء، وأسهمًا كبيرة تشير إلى أسفل أثناء نزول الكرة. هناك جزء له قدره من المجيبين يدركون أن الجاذبية تفعل فعلها في الكرة أثناء رحلتها كلها، وسوف يضيفون أسهمًا

[١٩] مسلسل تليفزيوني عن جزيرة غير مأهولة لجأ إليها أفراد جماعة نجوا من سفينة غارقة وعاشوا فيها لسنوات قبل إنقاذهم. (المترجم)

صغيرة تتجه إلى أسفل تالية للأسهم الكبيرة التي تشير إلى أعلى عند الجزء الصاعد من المنحنى. بالنسبة للكرة وهي عند الذروة سيرسم الكثيرون سهمًا صغيرًا متجها إلى أعلى وسهمًا صغيرًا إلى أسفل بحيث إنهما بالفعل يلغي أحدهما الآخر.

هذا معقول، أليس كذلك؟ الكرة تصعد، فتشير أسهم القوة إلى أعلى، الكرة تهبط، وأسهم القوة تغوص تجاه الأرض. الحقيقة أن هذا يبدو معقولًا للغاية حتى إن الناس ظلوا يؤمنون بالضبط بهذا النموذج للحركة لمئات السنين. بل إن له حتى اسمه — نظرية القوة الدافعة، فكرة أنه عندما يكون شيء ما في حالة حركة، فلا بد من أن هناك قوة، أو دافعًا يبقيه في حالة الحركة. إلا أن هذه النظرية خطأ مهما بدت معقولة واضحة. هناك حقًّا قوة لأعلى مارست فعلها في الكرة عندما رميت أولًا في الهواء، مع تحياتنا للاعب الرمي في البيسبول. إلا أنه ما إن تنطلق الكرة، ما إن تكون وسط رحلتها لا تعود هناك بعد قوة لأعلى تؤثّر عليها. ما إن تصبح الكرة في الهواء حتى تصبح القوة الوحيدة التي تؤثّر عليها هي الجاذبية. ينبغي أن تشير كل تلك الأسهم على الشكل إلى أسفل. لو لم تكن هناك جاذبية تثير اهتمامنا لظلت الكرة بعد رميها في الهواء تنطلق إلى أعلى، دون حاجة لمزيد من أي تشجيع. هذا أحد منتجات إسحق نيوتن الرائعة، قانون القصور الذاتي المشهور: الجسم الذي يكون في وضع السكون يميل إلى أن يبقى ساكنًا، إلا إذا حدث بسبب وكزة من عصا شرطي أن يُدفع بعيدًا عن دكة المنتزه، فكما تعرف، أنت هنا لست في فندق بلازا؛ في حين أن الجسم الذي يكون في حالة حركة يميل إلى أن يبقى في حركة إلا إذا استخدمت قوة لإيقافه. ولكن حتى على الرغم من أننا قد سمعنا بقانون القصور الذاتي، ورأينا الأفلام التي تبين ما يحدث عندما يشد كمبيوتر غيور الحبل الذي يربط رائد الفضاء وهو بلا وزن في الفضاء — حيث ينطلق بعيدًا — لا نزال نجد مشقة في أن نجمع بين فكرة القصور الذاتي وبين شيء في حالة حركة، ولا نزال نرسم أشكالًا لكرات تصعد مع أسهم تتجه إلى أعلى.

تقول كاري: «يأتي الناس لتعلم العلم ولديهم نظرية متماسكة شبه منهجية عن الظواهر الميكانيكية، وهي عادة تنويع على نظرية القوى الدافعة. وكثيرًا ما يحدث، وهم يتعلمون نظرية نيوتن، والقوى، وكمية الحركة، والقصور الذاتي، أنهم ببساطة يدخلون المعلومات الجديدة إلى مفاهيمهم الموجودة مسبقًا.» وجدت كاري هي وباحثون آخرون، أنه حتى بين الأفراد الذين درسوا الفيزياء لسنة في الكلية، هناك نسبة عالية يفسر أفرادها مسار الكرة المنحني بلغة من القوة الدافعة. وتقول كاري: «هؤلاء لم يشهدوا تغيرًا في مفاهيمهم. لا تزال المفاهيم الحدسية التي بدءوا بها تسيطر عليهم ويتمسكون بها.»

أحيانًا يمكن لجزء من المعرفة تعلمناه مبكرًا أن يكون له انطباع قوي، ويمكن أن يصبح فهمًا حدسيًّا يحدث بعدها أن يُستدعى قدمًا في جهد باسل لتفسير شيء آخر. بيّن الباحثون مثلًا أن أفرادًا كثيرين عندما سئلوا عن السبب في أن الجو دافئ ومشمس في الصيف وبارد وكئيب في الشتاء، فإنهم أرجعوا تتابع الفصول إلى المسافة النسبية بين الأرض والشمس. وهم يبدءون بذكر حقيقة التقطوها في وقت ما من المدرسة الابتدائية أو الثانوية — مدار الأرض حول الشمس ليس دائرة مكتملة، ولكنه إهليلجي. ثم يقولون شارحين أنه عندما تكون الأرض أقرب إلى الشمس في مسارها البيضاوي، يكون لدينا الصيف، وعندما تكون أبعد، يكون هذا أوان رش الملح في الطريق لإذابة الثلج المتراكم.

والتر ليوين أستاذ للفيزياء في معهد «ممت» عرض عليّ فيلم فيديو سأل فيه دارسي السنة النهائية في هارفارد وهم في احتفال التخرج أن يفسروا السبب فيما لدينا من فصول السنة. أخذ الشبان والشابات يكررون المرة بعد الأخرى وهم يتحدثون بثقة ورباطة جأش وقد ارتدوا عباءات وقلنسوات الاحتفال، ويرددون تفسيراتهم للفصول على أنها مسألة من ابتعاد الأرض أقصى بعد عن الشمس في الشتاء واقترابها لأدنى قرب في الصيف. لم يكن المجيبون كلهم ممن يدرسون مقررًا رئيسيًّا في التاريخ أو اللغة الإنجليزية بل كانوا يتضمنون أيضًا عددًا قليلًا من طلبة الفيزياء والهندسة.

ليوين هولندي ومن ثم فهو بالغ الطول، كما أن لديه شعرًا مبيضًا منفوشًا كشعر أينشتين، وأسلوبًا كهربائيًّا نابضًا، وتعبيرًا في وجهه غالبًا ما يميل إلى شك ازدرائي مذعن. وهو يقول: «هناك مفاهيم سيئة من المدرسة الثانوية يمكن أن تلازمك باقي حياتك كلها.»

يقول ليوين: مدار الأرض حقًّا إهليلجي، ولكنه هكذا إلى حد هين. إلا أنه عندما يحاول الطلبة أن يشرحوا بالرسم كيف أن شكل مدار كوكبنا الأرضي هو السبب في الفصول، فإنهم يبالغون، بلا اختلاف بينهم، في أن يصبح الشكل الإهليلجي متطرفًا ليتحول إلى شيء له الشكل الخارجي لحبات حلوى تيك تاك. لديهم الآن هكذا تمثيل بصري لطريقة رؤيتهم للفصول ... هل ترى ما هنالك، عند الطرف الأبعد من المدار الإهليلجي؟ هذا هو الشتاء. وهل ترى ذلك الطرف حيث ننحشر تجاه الشمس؟ هذا هو الصيف. يقول ليوين: «إنهم يعجزون عن توجيه سؤال مهم، إذا كان الحال هكذا، لماذا إذن يكون لدينا شتاء في نصف الكرة الجنوبي في حين يكون لدينا وقتها صيف في الشمال، والعكس بالعكس؟ إنهم لا يستطيعون أن ينفضوا بعيدًا عن عقولهم الصورةَ الإهليلجية الطاغية.»

وكما يتفق تكون الأرض في يوليو «أبعد» إلى حد قليل عن الشمس مما تكونه في ديسمبر، ولكن أيًّا من هذا ليس مهمًا. تعاقب الفصول ليس نتيجة لهندسة المدار ولكنه نتيجة لحقيقة ميل الأرض: حقيقة أن الكرة الأرضية تدور حول محور يميل بما يزيد عن ٢٣ درجة بالنسبة لمستوى حركة الأرض حول الشمس. وكنتيجة لذلك يكون وضع نصف الكرة الشمالي أحيانًا تجاه الشمس وينغمر باندفاع الحرارة والضوء إليه بدرجة تكون نسبيًّا أقوى وأكثر مباشرة، ويُنصح عندها كل من يعيش بين مدينتي كاركاس في فنزويلا، ووودبفلو في كندا بأن يرتدي الكثير مما يحجب الشمس، ملابس طويلة الأكمام، وقبعة سومبريرو عريضة، ويحتمي تحت غطاء قماش التاربولين.[٢٠] بعد مرور ستة شهور تكون الأرض في

[٢٠] قماش غليظ مشمع أو مدهون بالقار. (المترجم)

الطرف المقابل من مدارها البطيء، ونصف الكرة الشمالي يتجه بعيدًا عن الشمس ويكون هذا وقت قلي النصف الجنوبي بالحرارة.

مرة أخرى، يعرف معظم الناس أن الأرض لها محور ميل، إذا لم يكن هناك أي سبب آخر لمعرفتهم ذلك، فسيكون السبب هو ما يتعرضون له في طفولتهم من رؤية ذلك الجزء الإجباري من محتويات المنزل، الكرة الأرضية ذات الألوان الأربعة، التي تكون معظم البلاد التي رسمت عليها قد أعيد تسميتها ورسمها واستولت عليها مجالس عسكرية، وهي كرة لم تكن تستخدم إلا نادرًا بغرض لفها حول محورها المائل ميلًا ملحوظًا حتى تصرخ في صرير. لما كان هذا اللف يُفهم على أنه يفسر السبب في أن لدينا الليل والنهار، فإن زاوية الدوران يحتمل هكذا أن تقترن على نحو خطأ مع التفسير الجوهري لليل والنهار كما تتضمنه معارف صغار الأطفال، بمثل ما يكون مع أي تفسير لأيام الثلج وأيام الإجازة الصيفية.

ليس من الضروري أن نتعلم المعلومات الخطأ في الطفولة لنتعلق بها كما يتعلق طفل يحبو بشيء صغير لامع فيه خطر من أن يخنقه لو ابتلعه. سواء ونحن نتعرف على أصدقاء جدد أو نضع يدنا على أفكار جديدة، فإننا نظل للأبد تحت رحمة انطباعاتنا الأولى. نسمع تفسيرًا لشيء ما لم يعرض لنا من قبل — يبدو جيدًّا ومذاقه أفضل — ولكنك فقط لا تبتلع هذا الشيء، هل أنت تفعل ذلك؟ سيندي لوستيج تعمل أستاذة لعلم النفس في جامعة ميتشيجان، وقد أثبتت مؤخرًا عمليًّا مدى السهولة التي تتخذ بها عقولنا قرارًا حول الأشياء الجديدة. جمعت لوستيج معًا أربعة وثمانين فردًا من الباحثين الأكاديميين العاديين — طلبة جامعيون — وطلبت منهم أن يربطوا بين كلمتين بينهما علاقة مثل «ركبة» و«ينحني»، و«قهوة» و«قدح».

وفي اختبار للمتابعة، طلبت من أفراد الدراسة أن يغيروا الارتباط، وبدلًا من الإجابة عن الكلمة الهادية: «ركبة» بكلمة «تنحني» يكون على الطالب أن يجيب بكلمة «عظم»، وعندما تذكر كلمة «قهوة» تكون الإجابة فورًا «فنجان» بدلًا من «قدح». حسن، الآن وقت الغذاء. في وقت لاحق يومها قسمت لوستيج مجموعة أفراد الدراسة إلى قسمين. طُلب من النصف أن

يعودوا إلى الربط الأصلي عند مواجهتهم بالكلمة الهادية. لا توجد مشكلة: الركبة/«تنحني»، القهوة/«قدح». طلب من النصف الآخر أن يجيب بما يشاء من الكلمات التي تعلموها للاستجابة حسب ما يخطر ببالهم. أجاب نصفهم بكلمة «تنحني» أو «قدح»، وأجاب النصف بكلمة «عظم» أو «فنجان». هذا جيد، وكأننا نقذف العملة في الهواء لتسقط على أحد وجهيها. ولكن ماذا عن اليوم التالي؟ عندما طُلب ثانية من أفراد الإجابة العشوائية أن يقولوا أي إجابة تخطر على بالهم عند سماع الكلمة الهادية، استحضرت أغلبية منهم لها قدرها إجابات درسهم الأول، وأتوا ثانية بكلمة «تنحني» وكلمة «قدح». تقول لوستيج إن صلة الربط الأكثر تبكيرًا أصبحت الوضع الباقي في المخ.

يعرف المحققون الصحفيون هذه النزعة معرفة جيدة جدًّا، نزعة استعداد العقول لإقامة صلة ربط سريعة ثم ختمها بشمع محكم. أذكر أني كنت أكتب قصة للصفحة الأولى للنيويورك تايمز في ١٩٩١م، تدور حول الاكتشاف الرائع بأن البشر والثدييات الأخرى لديهم مئات كثيرة من الجينات مكرسة لإنتاج مستقبلات الرائحة، تلك الجزيئات التي ترصع خلايا مسالك أنوفنا والتي تتيح لنا الكشف عن آلاف الروائح التي تحيط بنا. عندما سمعت لأول مرة اسم إحدى الباحثات في الشم، وهي لندا بك Linda Buck، فكرت فورًا في لندا أخرى لها لقب مشابه، وهي لندا هانت Linda Hunt، الممثلة المولودة في نيوجيرسي، التي فازت بجائزة الأكاديمية عن تمثيلها لدور رجل إندونيسي من أصل صيني. حسن، لقب الاثنتين يشترك في حرف (U)، ويمكنك أن تصطاد (Hunt) ظبيًا (Buck)، أليس كذلك؟ وهنا ينطلق الجرس، وتوجد الصلة بينهما! من منهما هي من؟ هذا تحول خبيث! واصلت تحقيقي عن القصة. مرت الساعات منطلقة بسرعة. وعندما جلست للكتابة، لم أملك إلا أن أعود إلى إشارة الربط المبكرة التي أقمتها بين فئة «لندا» ذات اللقب الرقيق، وكتبت اسم لندا هانت. لم يحدث إلا في الدقيقة الأخيرة، قبل أن أسلم القصة مباشرة للمطبعة، أني أخذت أعيد مراجعة الاسم مقارنة بمقال الصحيفة — لأشهق لخطئي. لحسن الحظ

كان لدي الوقت الكافي لأغير الاسم وأنقذ نفسي من الهوان لزمن طويل. فازت بعدها لندا باك وزميلها ريتشارد آكسل بجائزة نوبل عن اكتشافاتهم، ولكن لا يوجد حتى الآن أثر لجائزة أوسكار نراه في المشهد.

من السهل مراجعة وتصحيح الحقائق البسيطة مثل هجاء الأسماء، أما مواجهة أفكارك المسبقة ومفاهيمك الخطأ وكذلك توضيح طريقة وسبب فهمك للشيء كما تفهمه، فهذه كلها أمور فيها مراوغة أكثر كثيرًا. قد تكون أفكارك غامضة، وأنت غير متأكد من أين أتتك. ستحس بالغباء عندما تدرك أنك على خطأ، ولا تريد أن تقر بذلك، وإذن فسوف تقول: إلى الجحيم بكل هذا الأمر، لست بارعًا في هذا، وداعًا. من فضلك، لا تفعل ذلك. إذا أدركت أنك رسمت أيضًا تلك الأسهم المتجهة إلى أعلى عند صعود الكرة، أو كنت غير متأكد بالنسبة للفصول أو ظننت أن أطوار القمر ناتجة عن ظل الأرض وقد سقط على القمر، بدلًا من أن تدرك السبب الحقيقي (أن نصف القمر يضاء دائمًا بالشمس، والنصف الآخر دائمًا مظلم، وأننا أثناء دورة القمر حول الأرض التي تستغرق شهرًا نرى نسبًا مختلفة من جانبه المضاء وجانبه المظلم)، لك عندها أن تلقي بمسئولية ذلك على المخ ونهمه الذي لا يشبع، فيلتقط أي شيء يقع عليه ويختزنه في المكان الأقرب أو الأكثر منطقية، ثم قد لا يكون هذا صحيحًا، لكن ماذا في ذلك. إذا كنت تريد حقًّا أن تصل إلى مكان ما يجب أن تكون مستعدًا لارتكاب الأخطاء، هذا حق وهو أيضًا حقيقة بديهية. هناك أمر آخر تقل درايتنا به عن ذلك، وهو المتعة التي يمكن أن تنالها عندما تشرّح وتحلل مصدر مفاهيمك الخاطئة، وكيف أنك عندما تفعل ذلك ستدرك أن هذه الأخطاء ليست غبية وأن لها أصلًا معقولًا أو على الأقل أصلًا مضحكًا. وإضافة لذلك، فإنك ما إن تدرك تركيبات أفكارك الحدسية حتى تصبح لديك الفرصة لتعديلها، أو إعادة تشكيلها أو إعادة لحمها بموقد اللحام حسب الحاجة، وأن تضع محلها حقائق علمية تقريبية أكثر اقترابًا من الحقيقة، حقائق مما يسطع الآن من حولك سطوع عملات سكت حديثًا.

الفصل الثاني

الاحتمالات

لمن ينحني الجرس[1]

في بداية كل فصل دراسي تعطي ديبوراه نولان لطلبة مقررها الدراسي للإحصائيات الأولية درسًا أساسيًّا من دروس الحياة له وجهان: الأول أن من الصعب حقًّا أن يبدو أمر ما عن قصد وكأنه أمر عارض؛ وعلى الوجه الثاني من العملة نفسها، نجد أن العشوائية يمكن أن تبدو على نحو يثير الشك وكأنها أمر مرتب. ترى ما أفضل طريقة لإثبات وجهة نظرها غير قذف العملة؟

تقسم نولان طلبة فصلها إلى مجموعتين، ويصل عدد هؤلاء الطلبة إلى الخمسة والستين أو ما يقرب. يُطلب من أعضاء إحدى المجموعتين أن يتناولوا إحدى العملات من محفظتهم، أو جيبهم، أو من جارٍ ودود، وأن يقذفوا العملة مائة مرة، ويسجلوا نتيجة كل رمية في الهواء على صفحة من الورق. يُطلب من طلبة المجموعة الأخرى أن «يتخيلوا» رمي العملة في الهواء لمائة مرة وأن يسجلوا كتابة ما يظنونه كنتيجة. يوقع الطلبة على عملهم بعلامة مميزة لا يعرفها أحد غيرهم أنفسهم ويضعون أوراقهم عن نتائج وجهي العملة، صورة أو كتابة، مقلوبة فوق منضدة نولان.

[1] المقصود بالجرس شكل منحنى توزيع النتائج العلمية حيث يكون المنحنى القياسي في شكل جرس مقلوب. (المترجم)

تغادر نولان الحجرة، ويأخذ الطلبة في قذف العملات، والكتابة، أو تخيل القذف والكتابة. تعود نولان وتلقي نظرة على صف الورق المكتوب عن حوالي مائة وجه لصورة (ص) ومائة لكتابة (ك) ثم تقرر ما إذا كانت الواحدة منها نتيجة رمية حقيقية أو أنها نتيجة رمية متخيلة وتعلن قرارها للطلبة. تكاد نولان أن تكون دائمًا على صواب، وكما تقول فإن الطلبة يبدون «مشدوهين»، ويظنون أنها لا بد قد غشت النتائج. أو يظنون أنها ربما كانت تنظر خلسة أو أن لديها واشٍ يبلغ لها المعلومات. ولكنها ليست في حاجة لأن تلعب دور الجاسوسة هارييت.[٢] كما يتفق، فإن الصدف الحقيقية لها طابع مميز، وما لم تكن على دراية بنمطها، سيكون من المرجح أن تظن أنها أكثر تخبطًا وتصادفًا مما هي عليه. تعرف نولان ما تبدو به العشوائية الحقيقية، وتعرف أنها كثيرًا ما تضايق الناس بأنها لا تبدو عشوائية بما فيه «الكفاية».

عند قذف العملة حقًّا في الهواء، مرة تلو الأخرى، ستجد امتدادات كثيرة من النتائج الرتيبة، صف من خمسة وجوه للصورة أو سبعة وجوه للكتابة. والآن، ليس في هذا مشكلة مهمة إذا واصلت الرمي لوقت كافٍ، وتبدأ هكذا في أن تدرك أنه يحدث تكتل للنتائج في سياق مائة قذفة أو مائتين. ومع ذلك فعندما نراقب أحدهم وهو يقذف العملة لمرات أقل، خاصة إذا كان هناك إجراء سيترتب على النتيجة — كتحديد من الذي سيختار جهة تمضية الإجازة، أو من الذي سيكون عليه التخلص من جثة حيوان الأوبسوم من أسفل الشرفة — عندها سيكون لدينا شك إذا أخذت العملة تكرر النتيجة نفسها، «ست» مرات لوجه الكتابة؟ من أين حصلت على هذه العملة بأي حال؟ هل هي من مسرحية «توم ستوبارد»[٣] دعني «أنا» أجرب.

وفي حالات تخيل قذف العملة، عوض الطلبة حذرهم المتأصل من «الصدف التي تحدث أكثر مما ينبغي» بأن أخذوا ينطّون جيئة وذهابًا ما

---

[٢] هارييت شخصية في رواية للأطفال عن طفلة عمرها ١١ سنة تحاول أن تكون جاسوسة وكاتبة. (المترجم)

[٣] مسرحية كوميدية ممتعة لتوم ستوبارد فيها تردد، واسمها «روزبكرانتز وجيلدر ستيرن قد ماتا» وتفتتح المسرحية وكلاهما في الطريق إلى «إلزينور»، ويكرران قذف العملات ويحصلان على وجه الصورة في كل مرة. (المؤلفة)

بين الصورة والكتابة. وعمومًا فإن تكرار كتابة إحدى النتائج ثلاث مرات يجعل جرس الإنذار يدق في رأس الطالب بما يؤدي إلى أن يغير النتيجة عن عمد لوجه العملة الآخر. تقول نولان: «عندما أنظر إلى نتائج تخيل إلقاء العملة، يكون طول أطول دورة من نتائج ظهور الصورة أو الكتابة قصير للغاية. وبصفة عامة، يكون عدد مرات تحول النتائج بين الصورة والكتابة أعلى كثيرًا.» يعرف الناس أن هناك فرصة من خمسين إلى خمسين من النتيجة المعينة لكل رمية، وهم يعرفون أن الرميات المائة ينتج عنها في المتوسط ما يقرب من خمسين وجه للصورة وخمسين للكتابة. حسن، ثمانية وأربعون كتابة، واثنان وخمسون صورة، أستطيع أن أتقبل ذلك. ولكن ستة وجوه كتابة متتالية؟!

تقول نولان: «يريد الناس أن يطبقوا قاعدة الخمسين إلى الخمسين حتى على الفترة الزمنية القصيرة جدًّا. لديهم هكذا حس منحرف بالاحتمالات، وهم يظنون أن فرص الحصول على تكرار النتيجة نفسها للصورة أو الكتابة في رميات متتالية هي فرص أقل كثيرًا مما هي عليه. الحقيقة أن احتمال الحصول على تكرار الصورة أو الكتابة لأربع مرات متتالية هو احتمال بنسبة واحد إلى ثمانية، وهكذا فإن هناك فرصة كبيرة نوعًا لأن يحدث ذلك.» تستقي نولان رقمها هذا من استخدام قاعدة بسيطة من عمليات الضرب تنطبق على طريقة استنتاج احتمالات قذف العملة.[4] لدينا بالطبع فرصة من خمسين بالمائة لأن تكون النتيجة وجه صورة (أو كتابة) مع كل رمية — وبكلمات أخرى لدينا احتمال من ٠٫٥ لحساب فرص الحصول على وجه الصورة مرتين متتاليتين، نضرب الاحتمالين معًا: ٠٫٥ مضروب في ٠٫٥ أي ٠٫٢٥ — أي أن هناك فرصة من ٢٥ في المائة بأنك عندما ترمي عملتك مرتين سترى وجهين متتالين للصورة. إذا أردت أن تزيد من عدد

[4] هذه القاعدة لعمليات الضرب تنطبق فقط على حساب الاحتمالات عندما يكون كل حدث في الأحداث المتتابعة مستقلًا عن الآخر، كما هو الحال عند رمي العملة. ولكنها لا يمكن تطبيقها في الحالات التي يحتمل فيها أن يؤثر أحد الأحداث في الآخر. فمثلًا لا نستطيع أن نحسب احتمال أن يكون لرجل لحية وشارب بأن نضرب الاحتمالات الفردية معًا، لأنه على الرغم من أن أبراهام لنكولن كان بلحية ومن غير شارب، إلا أن الرجال ذوي اللحية يختارون عمومًا أن يكونوا بشارب. (المؤلفة)

مرات القذف وأنت تجري حساباتك لتقدير الاحتمالات، فستواصل عملية الضرب لا غير. توقع رؤية وجه الصورة نتيجة أربع رميات يكون هكذا رقم ٠,٥ مضروبًا في نفسه لأربع مرات، وهذا نتيجته احتمال من الواحد إلى ستة عشر. ولكننا بسبب أننا حددنا مسبقًا أننا نريد حساب احتمالات رؤية أربعة وجوه متتالية للصورة «أو» للكتابة، وليس أربعة وجوه للصورة وحدها، فإننا يجب أن نضيف الاحتمالين معًا، وحاصل جمع واحد إلى ستة عشر زائد واحد إلى ستة عشر هو واحد إلى ثمانية.[٥] من المسلم به أن احتمالات استمرار نتائج وجه واحد للعملة تنخفض انخفاضًا كبيرًا مع كل رمية إضافية. احتمال قذف ستة وجوه متتالية للصورة «أو» الكتابة هي فقط بنسبة واحد إلى اثنين وثلاثين، أو ما يقرب من ٣ في المائة. إلا أن هذا الإمكان الضئيل ينطبق على نوبة واحدة من ست رميات. عندما تقذف العملة لمائة مرة تبدأ الاحتمالات في الازدياد، كما تزداد أيضًا مجموعات النتائج المتماثلة.

جربت بنفسي عدة مرات تمرين نولان لقذف العملة، وفيما يزيد عن اثنتي عشرة دورة كل مرة بمائة قذفة، لم أكمل قط مجموعة من المائة دون أن أحصل على الأقل على تكرار متصل من ستة أو سبعة وجوه للصورة أو الكتابة متتالية، وكثيرًا ما يكون ذلك التكرار لستِّ مرات بلا انقطاع في كل مجموعة، وكذلك هناك أيضًا الكثير من التكرار لخمس وأربع مرات. أكبر رقم مسجل عندي للتكرار هو تسعة وجوه متتالية للصورة، وهو رقم أحس بالقلق من ذكره، حتى حاليًا وأنا أعرف ما أعرفه ومع إصراري على افتراض تفوقي على الأستاذة المعلمة في الدهاء، بل أحس بالقلق من ذكره حتى في عرض لقذف مصطنع للعملة.

ما لم يتم تلقين طلبة نولان العلم عن الإمكانات الموسعة لنظرية الاحتمالات، فإنهم سيستمرون في النظر إلى فكرة العشوائية على أنها نوع

---

[٥] قاعدة عملية الجمع هذه تتطلب أن يكون الحدثان بحيث يستبعد أحدهما الآخر تبادليًا. وهذا مرة أخرى ينطبق على عملية رمي العملة. عندما يكون في يدك قطعة عملة واحدة، لا يمكن أن تحصل على نتيجة أربعة وجوه للصورة وأربعة وجوه للكتابة في الوقت نفسه. (المؤلفة)

من تقلص عصبي لاإرادي: آسف، آسف، لا أستطيع أن أوقف هذه التقلصات! ماذا يكمن وراء هذه التكرارات المستمرة التي تماثل تتابع حركة الكرة في تنس الطاولة، وما الذي وراء أبراهام لنكولن ونصبه التذكاري، ثم ماذا ننال من هذا؟ أحد الأنماط. وبعد هذا النمط لا تبقى إلا خطوة صغيرة لنفترض قوة خارقة أو معجزة، وكما نعرف يكون أول ما يحدث بعدها أن يفقد أرنب مسكين قدمه[٦] لتعلق كتميمة في سلسلة مفاتيح. تقول نولان: «الكثير من الناس ليس لديهم شعور حقيقي بالطريقة التي يحتمل بها أن تقع الأحداث، وهم لهذا يأخذون في إضفاء معنى خفي إلى ما يكون عشوائيًّا. عندما يرون تتابعًا من وجوه الصورة أو الكتابة يتجاوز طولًا معينًا، يبدءون في البحث عن أسباب لذلك.»

ها هنا نجد الأساس للإيمان بالعقائد الخرافية والتطير كما تقول نولان. يحدث أن يقع حدث بالصدفة وعندما لا نعرف ما وراء ذلك من الاحتمالات، نعجب للأمر. والآن ما هي الاحتمالات حقًّا؟ لا شك أنها أضأل من أن تكون صدفة!

يشرح آلان جوث الفيزيائي بمعهد «ممت» مثلًا عن عائلته هو نفسه يبين مدى سهولة أن تُحول العشوائية إلى نذير خير أو شر. كان لجوث خالٌ يعيش وحيدًا، وقد وُجد ميتًا في بيته، وحضر رجل شرطة ليبلغ أم جوث بالأنباء السيئة. أثناء وجود ضابط الشرطة هناك تصادف أن تحدثت شقيقة لجوث تليفونيًّا، وكانت مسافرة لبعض أشغالها. يقول جوث: «أصيبت كلٌّ من أمي وأختي بصدمة عصبية من توقيت المكالمة، وأنها تزامنت مع زيارة رجل الشرطة وأنباء موت خالي. واعتقدتا أنه لا بد من وجود نوع من التخاطر أو التليباثي يتعلق بذلك.» عندما سمع جوث من أمه عن هذا الموقف «الإعجازي» الذي نتج عن تواصل عن بعد أساسه القرابة، لم يستطع أن يمنع نفسه عن إجراء بعض حسابات سريعة. كانت أخته تحدث أمهما تليفونيًّا بانتظام مرة في كل أسبوع تقريبًا. كانت تتصل بها إما أول ما

[٦] قدم الأرنب تعد في الغرب تميمة لجلب الحظ الحسن. (المترجم)

تفعله في الصباح أو في المساء، عندما يكون لديها وقت فراغ وكذلك عندما ترجح وجود أمها. وصل الشرطي إلى منزل الأم في وقت يقرب من الخامسة بعد الظهر، ولما كانت هناك أمور عديدة جدية وكئيبة تتطلب النقاش، فإن زيارته امتدت لأكثر من ساعة، وربما لساعتين.

قال لي جوث: إنه باعتبار كل العوامل معًا، فإن احتمال أن تتحدث أخته تليفونيًّا أثناء وجود الشرطي يساوي أن يحصل من رمي العملة لخمس مرات متتالية على صورة أو على كتابة. ويضيف جوث: «ليس في هذا ما أعتبر أنه حدث غير محتمل إلى حد بعيد.» نعم هذا حدث فيه بعض حظ جيد، باعتبار أن أمه في حاجة إلى عزاء من شخص محب لها، ولكنه حدث لا يحتاج لأن نختار تفسيره بالتليباثي عند النظر في أمره.

كلما زاد ما نعرفه عن الاحتمالات، قلَّ ما نبديه من ذهول للأحداث التي تتزامن صدفة مهما كانت غرابتها. حكت لي أمي قصة مسلية عن واحد من معارفها بدا من ستة شهور أن مصيره أصبح مرتبطًا بمصيرها ارتباطًا لصيقًا. كان هذا الرجل من المعارف أستاذًا قديمًا لها في الرياضيات، الأمر الذي يساير أهدافنا هنا. ظل والدايَ أسبوعًا بعد أسبوع يلاقيانه صدفة عند أحد شبابيك دفع التذاكر للعروض الثقافية المنتشرة في حي مانهاتن — مسرحية خارج مسارح برودواي، حفل مجاني لعزف منفرد للبيانو، فيلم من إخراج بيرجمان، حجرة عرض لوحة «زنابق الماء» التي رسمها مونيه في متحف الفن الحديث. في المرات القليلة الأولى، كانت أمي وأستاذها يتهللان في عجب من تشابه ذوقيهما. سرعان ما أصبحا يكتفيان بإيماءة مبهمة عبر القاعة. ثم كان الانقلاب المفاجئ بعدها بشهور قليلة، في يوليو وفي بلد آخر. كان والدايَ يجوبان على مهل «جادة سان ميشيل» في أول رحلة لهما إلى باريس، وكان أن أبصرا أمامهما وياللعجب الأستاذ الطيب جالسًا في مقهى. أدركت أمي من الطريقة التي كان يمسك بها صحيفة أمام وجهه على نحو يلفت الأنظار أنه قد رآهما أولاً.

لو كان عند أمي أي نزعة للإيمان بالخرافات والتطير، لربما ظنت أن الكون هكذا يحاول أن يخبرها بشيء مثل (أستاذك هذا يكرهك!). إلا أنها

أقل من أعرفهم اعتقادًا في الخرافة والتطير، وكان ما فهمته أمي هو: (أ) من يحبون مونيه يحبون الفن الفرنسي؛ و(ب) تشتهر باريس بمجموعاتها العالمية الممتازة من الفن الفرنسي؛ و(ج) فيلم «أبريل في باريس» يبدو رومانسيًّا، أما فيلم «أمريكي في باريس» فيبدو كجو شهر يوليو؛ و(د) المقهى المفتوح خير مكان تقضي فيه ساعات كثيرة وأنت لا تشرب فنجان قهوة «اسبرسو» باردة، ولا تشم دخان سجائر «الجولواز» الفرنسية المشتعلة في منفضة السجائر، ولا تقرأ فيه حقًّا صحيفة «هيرالد تريبون».

جون ليتلوود عالم رياضيات مشهور في جامعة كمبردج، وقد وضع صيغة للتدخل الظاهري للعوامل فوق الطبيعية في الحياة العادية في صورة قانون طبيعي، أسماه «قانون ليتلوود للمعجزات» وعرّف ليتلوود المعجزة كما قد يعرفها الكثيرون بأنها: حدث بنسبة واحد إلى المليون، نضفي عليه أهمية حقيقية عندما يقع. حسب قانونه، هذه «المعجزات» قد تنشأ في حياة أي واحد بمتوسط مرة واحدة في كل شهر. هاكم كيف يفسر ليتلوود ذلك: أنت تخرج وتجوس العالم تحت غلالة من قذائف الأحداث لبعض زمن من ثماني ساعات يوميًّا. وهكذا ترى وتسمع أمورًا تحدث بمعدل ربما يكون حدثًا واحدًا لكل ثانية، وربما يصل إلى ٣٠٠٠٠ «حدث» يوميًّا أو ما يقرب، أو مليون حدث شهريًّا. إلا أنك لا تكاد تلحظ الأغلبية العظمى من هذه الأحداث، ولكن حتى مع هذا، سيقع لك كل فترة ما، أنه من بين كل هذا التيار الهائل من الأحداث ستأتيك نفحة من معجزة: عازف البيانو في الحانة يعزف أغنية كنت تفكر فيها توًّا، أو تمر على نافذة عرض لمحل رهونات وترى فيها الخاتم المتوارث الذي سُرق من شقتك منذ ثمانية عشر شهرًا. نعم، الحياة مليئة بالمعجزات، معجزات صغرى، وكبرى، ومتوسطة، يسمى هذا «بعدم البقاء في حالة من الخمول الدائم»، وأن «يمتد مدى الحياة لأطول من حياة خنفساء فرقع لوز».

ليس هناك معجزة أكثر إعجازًا من الميلاد، ولهذا فإن ديبوراه نولان تحب أيضًا أن تثير عجب طلابها الجدد بمباراة يوم الميلاد المشهورة. تقول نولان، سوف أراهنكم على أن هناك على الأقل فردين في هذه الحجرة لهما يوم

الميلاد نفسه. ينظر الخمسة والستون فردا فيما حولهم وهم يرمقون أحدهم الآخر، ولا يرون أي شيء قريب من صفقة فيها عرض يقدم الهدايا لأيام من السنة، ويشكّون في الأمر. تبدأ نولان عند أحد أطراف حجرة الدراسة، وتسأل طالبة عن يوم ميلادها، وتكتبه فوق السبورة، وتنتقل إلى الطالب التالي، وتدون يوم ميلاده بمثل ذلك، ثم ياللدهشة، سرعان ما يظهر اثنان يتطابقان. يتعجب الطلبة، كيف يمكن ذلك، مع أن عدد الأفراد المتاحين للاختبار أقل من ٢٠ في المائة من عدد أيام السنة، ٣٦٥ يوما (أو ٣٦٦ إذا كنت تريد التأكيد على السنوات الكبيسة)؟ وفي البداية تذكرهم نولان بما يتحدثون عنه — فهو ليس احتمالات تمثل يوم ميلاد معيّن، وإنما البحث عن مثيل، «أي» مثيل، في مكان ما من عينة غرفة دراستهم. ثم تجعلهم بعدها يفكرون في المشكلة من الاتجاه الآخر: ما هي احتمالات ألا يجدوا مثيلًا؟ وتثبت لهم أن هذا الرقم يتناقص سريعًا وهم يتقدمون في العملية. في كل مرة يضاف فيها تاريخ ميلاد جديد إلى القائمة، ينقضي يوم آخر من الأيام الممكنة من الـ ٣٦٥ يومًا التي يمكن ذكرها بعد ذلك دون مثيل. إلا أنه في كل مرة يكون فيها الشخص التالي على وشك أن يذكر يوم ميلاده، يظل المستودع الذي يختار منه الطالب نظريًّا كما كان عليه دائمًا، أي من ٣٦٥ يومًا. بعبارة أخرى ينكمش أحد الأرقام، بينما يبقى الآخر كما هو، وحيث إن الاحتمالات هنا تحسب على أساس المقارنة (من خلال الضرب والقسمة) بين المجموعة الأولى الثابتة من الخيارات الممكنة وبين مجموعة تتناقص دائمًا من الخيارات المتاحة، فإن احتمال ألا نعثر على يوم ميلاد مثيل في مجموعة من خمسة وستين فردًا يهبط سريعًا إلى أقل من واحد في المائة. لا ريب في أن التنبؤ هو احتمال لا غير، وليس ضمانًا. على الرغم من أن نسيج هذا الإحصاء تجريدي ومضاد للبديهة إلا أنه في الفصل الدراسي لنولان يثبت نفسه المرة بعد الأخرى كقياس بارع للواقع.

تضيف نولان أنه إذا كنت لا تبحث عن درجة عالية هكذا من الثقة، ولكنك مستعد لأن تستقر على احتمالات متساوية فيما يتعلق بأن تعثر في تجمع من الأفراد على يوم ميلاد مشترك، فإن عدد المساهمين حسب ما يوافق

ذلك يمكن أن يختصر إلى ثلاثة وعشرين فردًا. وبكلمات أخرى لو رميت بأربعة وعشرين فردًا في حفل كوكتيل، سيكون لديك فرصة معقولة لأن يكون اثنان منهما رفيقين في يوم ميلاد واحد، وهما عندما يكتشفان هذه الحقيقة سيصرخان فيما يرجح في دهشة من تصادف هذا التزامن وينتقلان بعدها بسهولة إلى نقاش عن التنجيم. أو إذا تصادف وكان يوم ميلادهما هو ١٦ فبراير وهما يتحدثان إليّ في هذا الحفل المتخيل للكوكتيل، فسوف يسمعان عن رفقاء كثيرين آخرين سابقين لهم في زمالة يوم الميلاد — سوزان المصورة الفوتوغرافية في سان فرانسيسكو التي تأتي دائمًا حسب الاتفاق ومعها صورها الذهبية؛ وهناك فرنك رجل الأعمال في أطلنطا، الذي أجر شقتي من الباطن لزمن قصير وزايد عليها في الحانة المجاورة ذات الحليات البولينيزية؛ ثم ميشيل حبيبة أخي؛ وأخيرًا وليس آخرًا روبي أحد الصبية الذين كنت أواعدهم في المدرسة الثانوية، وكان جذابًا ذكيًّا ووضيع الخلق دائمًا، ربما كانت هذه سمته الرائعة، أو أنها بسبب شيء أكلته أمه المسكينة.

يأخذ طلبة نولان، من خلال تدريبات مثل رفقاء يوم الميلاد، في أن يروا العالم على أنه قابل للتنبؤ وكذلك مليء بالمفاجآت. إنه مكان يمكن فيه للأرقام الصغيرة أن تتخذ أجواء من العظمة، ويبدو لأول وهلة أن لها مغزى أكثر مما هي عليه: كيف يمكن لرقم ضئيل مثل ٢٣ أن يؤدي دورًا مثل رقم ٣٦٥ دون متحدث بارع له دوافعه يقف وراءه؟

هناك أيضًا مسرح أحداث كبير بما يكفي لأن يجعل من الأحداث النادرة أحداثًا منتظمة، حين تباع أوراق اليانصيب بأعداد من الملايين الكثيرة فتؤدي إلى ظهور أنماط عجيبة. يشتري رجل أسترالي في الستين من عمره ورقة يانصيب قبل سفره في إجازة، ويقلقه أنه ربما اشترى النوع الخطأ من ورق اليانصيب، ويطلب من صديق في الوطن في سيدني أن يشتري ورقة أخرى، ويخشى عند عودته إلى الوطن أن يكون صديقه قد أخطأ في فهم طلبه، وهكذا يقرر أن ينطلق لشراء ورقة ثالثة — وينتهي به الأمر إلى أن يكون في يده ثلاث أوراق رابحة. امرأة في ميلوكي بولاية ويسكونسن تستجيب لرغبة زوجها، وكان في توق شديد لشراء طاقم أدوات طائرة تجريبي غالي

الثمن، بالطبع يا عزيزي، هيا تفضل وأنفق في بذخ كما تشاء «عندما تكسب اليانصيب»، وذلك لمجرد أن أباها كان قد كسب منذ عشرة أعوام الجائزة الكبرى ليانصيب الولاية الملاييني وقدرها ٢,٧ مليون دولار؛ يأخذ الزوج اقتراحها جديًّا فيكسب هو نفسه جائزة ملاينية من ٢,٥ مليون دولار. أو أن الموظفين المشرفين على سحب يانصيب «باور بول» (كرة القوة) الذي يُدار في ولايات عديدة معًا ينتابهم الشك عندما يأتي ١١٠ من المشترين المبعثرين بين ٢٩ من الولايات المشاركة ويطالبون بجوائز من المرتبة الثانية، بدلًا من العدد المتوقع من أربعة أو خمسة فائزين بهذا النوع من الجائزة عند السحب. إلا أن كل واحد من المطالبين الـ ١١٠ قد خمن بصواب خمسة أرقام من الستة في يانصيب «الباوربول» هذا، وكل واحد منهم له الحق فيما يتراوح بين ١٠٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ دولار، بما يعتمد على الرهان الابتدائي. وراء هذا التفشي المروع للحظ السعيد كعكة من كعك الحظ الصغيرة. كل هؤلاء الفائزين بجائزة المرتبة الثانية قد أسسوا اختيارهم على الأرقام الستة التي رأوها على قطعة ورق صغيرة دست داخل كعكة حظ صينية، ورقة بخت مثل ورقة السيلوفين اللامعة التي تلف الكعكة، قد أنتجها مصنع «ونتون» للطعام في نيويورك بكميات كبيرة.

لم يعتد معظمنا على التفكير بأسلوب قائم على الاحتمالات، وبدلًا من ذلك فنحن نتعامل مع الحياة عن طريق مزيج شخصي من الأحاسيس، والمعتقدات والرغبات، وأوجه من الحدس. من المؤكد أن حدسنا جزء له أهميته من صفاتنا. يبلغ طول الجهاز الهضمي ثلاثين قدمًا من الحلق حتى الإست، لكن طوله الفيزيقي لا يعد شيئًا بالمقارنة بقيمته المجازية كمصدر «لغرائزنا» المحببة. نلتقي بأناس جدد، ونكوّن رأينا عنهم، ونحس «بشعور باطني» في أحشائنا بما يبدون عليه، ونقارنهم في مباينة مع غيرهم من معارفنا حتى نصل إلى أقرب تصور ملائم. آه، ها نحن الآن قد خمنا حالهم وحزمنا قرارنا وصنفناهم. نستطيع الآن أن ننام قريري الأعين. إذا حدث واصطدم إحساسنا الباطني بالمنطق أو الاحتمالات أو الدليل، فهيا خمن أيًّا منها سيربح؟

يقر جوناثان كوهلر بجامعة تكساس بأنه ليس دائمًا بالضيف المحبوب في أي حفل زفاف. فهو يجلس في الحفل، ويستمع إلى الزوجين المصابين بالدوار وهما يتبادلان التعهدات بالإخلاص الدائم، والحب، والاحترام. ويسمع الأنخاب التي تشهد على تلاؤم هذا الزواج تلاؤمًا واضحًا، وكيف أن أي شخص يعرف هذا الرجل أو هذه المرأة يمكن أن يعرف منذ البداية أن هذا زواج «قُصد به أن يكون» وأنه «لا يماثل أي زواج آخر»، ويفكر كوهلر في أنه قد حضر أربع حفلات زفاف في السنة الماضية. من منهم عليه الدور إذن، زاك وجيني؟ أم سام وبريان؟ أم براد وبرينا؟ أم آدم وهرميون، وهما الآن أمامي يطبقان الشفاه مغلقة على الدوام؟ أي اثنين من بين هؤلاء الأزواج الأربعة المخبولين المتزوجين حديثًا عليه الدور لأن ينتهي أمرهما وقد حملا رماحهما المسمومة إلى محكمة الطلاق بعد عشرة أعوام؟ على كل حال، يصل معدل الطلاق في أمريكا، بصرف النظر عن التراوحات البسيطة، إلى معدل ثابت على نحو ملحوظ طول نصف قرن تقريبًا، هو ٥٠ في المائة.

كوهلر ودود وثرثار وأحيانًا يشرك في تأملاته ضيوف الزفاف الآخرين. وينظرون إليه وكأنه قد تجشأ أو خمن العلاقة المتبادلة بين حجم حمالة ثدي العروس وراتب العريس.

ويقول كوهلر: «إنهم يرون أن من المنفر أن يدور حديث بالإحصائيات أثناء حفل زفاف. وهم يريدون معرفة كيف أنني أستطيع قول شيء كهذا. لماذا، هل أنت لا تعرف شيئًا عن هذين الزوجين! انظر فحسب كيف هما سعيدان، كيف هما غارقان في الحب، وكيف تفيض البهجة على أسرتيهما. هذا حقيقي تمامًا — ولكني أعرف التكرار العام في الإحصائيات. أعرف أيضًا أن كل اثنين يتزوجان بالقبلات والإنجاب والآمال الكبيرة، ولكن هذه التفاصيل ينبغي ألا تؤثر في الاحتمالات التي نحسبها لهما. إلا إذا أخبرتني عن شيء بعيد عن المعدل الإحصائي، شيء تشخيصي يتبين أنه يؤثر في احتمال الطلاق — كأن يكون كلا الزوجين مثلًا فوق سن الخامسة والثلاثين، فمن المعروف أن هذا يقلل من احتمال الطلاق — فيما عدا ذلك أفترض أن الاحتمال الإحصائي الطبيعي للخطر هو الذي يطبق.» وكوهلر لديه بنية

ضئيلة وشعر داكن متهدل مثل الممثل مايكل ج. فوكس، وهو يصر على أنه ليس «بالرجل الصغير الساخر بمرارة» أو الأعزب الراضي عن ذاته، فعلى العكس هو نفسه قد تزوج حديثًا. الأمر ببساطة أنه قد تعود على رؤية العالم كفضاء عجيب لأخذ العينات الإحصائية.

يقول كوهلر: «الناس لا يميلون إلى الانتباه إلى المعلومات التي في الخلفية، أي فضاء العينة. إنهم يأخذون معلومات المنطقة الأمامية بدون السياق، ويتقبلونها بمعناها الظاهري.»

ويضيف أنه في حين أن القابلية الشديدة للتصديق قد تكون هي التي تخفف من حدة المشكلات في الزواج، فإنه في أحيان أخرى قد يكون من المفيد أن ننظر إلى الستارة الخلفية الكبيرة. حدث أكثر من مرة أن هدّأ كوهلر من روع مسافر عصبي يجلس بجواره في طائرة بأن يستشهد له بالاحتمالات. ويقول له، سيكون عليك أن تطير بطائرة خط طيران يوميًّا لمدة ١٨٠٠٠ سنة حتى تزيد احتمالات وقوع حادث لك من تحطم طائرة عن نسبة ٥٠ في المائة. أتود أن تعرف ما تبدو عليه ١٨٠٠٠ سنة؟ فكر في أنها «ترجع وراء إلى ما يصل إلى ضعف الزمن منذ فجر الزراعة.»

بحث كوهلر أيضًا الأخطاء التي يرتكبها الناس عند اتخاذ قرار لطريقة استثمار نقودهم. في إحدى الدراسات، عرض هو وزميله مولى ميرسر دراسة لاستجابة الأفراد لإعلانات وهمية عن تمويل مشترك للمشروعات. عرضوا للمجموعة الأولى من الأفراد إعلانًا من شركة صغيرة لها سجل مسار ممتاز امتيازًا استثنائيًّا. وهي تنفذ فقط مشروعين ماليين، ولكن كل منهما نجح على نحو ثابت وتفوق في تألق كعلامة قياس متميزة في مؤشر السوق المالي، مثل مؤشرات شركة «ستاندرد وبور» للخدمات المالية، والشركة الآن ستبدأ مشروعًا ثالثًا، أتريد الاستثمار فيه؟ عُرض على المجموعة التالية من أفراد البحث إعلان من شركة كبيرة للتمويل المشترك، يذكر أنها أدارت تمويل ثلاثين مشروعًا، ثم عرضت نتائج التمويلين اللذين «قتلا» بنجاحهما مؤشر السوق؛ وهي أيضًا تريد مستثمرين لمشروع جديد. إلا أن مجموعة أخرى رأت إعلانًا من الشركة الكبيرة نفسها، تحاول فيه مرة أخرى إغراء

المستثمرين لمشروع جديد بإلقاء الضوء على العائد السخي من مشروعيها الناجحين نجاحًا فائقًا، ولكن الإعلان هذه المرة لا إشارة فيه إلى المشروعات الكثيرة الأخرى التي تغوص النقود في محفظتها المشتركة، والتي يفترض أنها إلى حد بعيدّ أقل إثارة للإعجاب.

وجد كوهلر وميرسر أن أفراد الدراسة عمومًا تأثروا بدرجة أكبر بنتائج الشركة الصغيرة، وأبدوا عزمهم على شراء أسهم آخر مشروع ستبدأ به. كما أنهم بالقدر نفسه لم يتأثروا بالشركة الكبيرة ذات الثلاثين مشروعًا. يقول كوهلر: «أدرك الناس أنهم يعرضون عليهم فقط أفضل مشروعين من بين ثلاثين مشروعًا، وأضاف كل منهم: آسف، لست مهتما بعرضك». ولكنهم عندما ووجهوا بالإعلان الثالث من الشركة الكبيرة التي تباهي بمشروعيها الفائقي النجاح وتحذف أي إشارة إلى عملياتها عند القيمة الأساسية، فإن أفراد الدراسة وقعوا مرة أخرى فريسة لإغراء المعلومات الكاذبة التي صدرت في البداية. وهكذا رحبوا بها بنفس الحماس الذي وُجه إلى الشركة الصغيرة.

يقول كوهلر: «من الوجهة الرياضية نجد أن مشروع جماعة الاستثمار التي نجحت بنسبة اثنين من اثنين له احتمال نجاح أكبر كثيرًا ومن الأرجح أنه سيتفوق أداؤه في السوق عن مشروع الجماعة التي نجح لديها اثنان من عدد كلي من المشاريع عليه علامة استفهام. إلا أن الناس كثيرًا ما تنسى أن تسأل. ما هي علامة الاستفهام هنا؟ إنهم لا يفكرون في فضاء العينات.»

لسوء حظنا — نحن المشاركون من نوع الفقراء من بذر التبن، الذين يلتمسون تنمية أجورهم المحدودة — أن الإعلانات في الحياة الحقيقية عن المشاركة في التمويل ليست مجبرة قانونًا على إفشاء سر مشاريعها الخاسرة، ومن ثم فإنها نادرًا ما تفعل ذلك. بل حتى نصيحة «الخبراء» الاستشاريين قد لا يكون فيها ما يدعم توقعاتنا. يقول كوهلر: «تلقينا الاستجابات نفسها لإعلاناتنا سواء سألنا طلبة جامعيين أو مستثمرين محترفين.»

يسلم كوهلر أنه ليس من السهل أن نفكر بشأن فضاء العينة، وسياق الخلفية، والحشود المتجمهرة وراء الفريق المحلي أمامك قائلاً. «نحن لدينا مثل الكمبيوتر دوائر بنيت داخلنا بحيث لا نفكر تفكيرًا احتماليًّا. دوائرنا

مبنية داخلنا بحيث نستجيب للحياة استجابة ذاتية، وعلى نحو من التقمص العاطفي، والتعجل، وقد يكون هذا في بعض الحالات حافزًا سخيًّا، ولكنه في حالات أخرى يغطى فهمنا بغشاوة ويجعل حكمنا خطأً بالكامل.» إحدى طرائق التناول التي يتخذها كوهلر لتشجيع المنحى العقلي للتحليل الكمي هو أن نطبقه مباشرة عندما تكون الذاتية لها أقوى قبضة محكمة على الإدراك: مهارات شعبنا. يستخدم كوهلر تدريبات من نوع المشكلة المشهورة المسماة «مشكلة ليندا». يُعطى للطلبة فقرة تصف شخصية مفترضة تسمى ليندا، يقال عنها إنها امرأة أمريكية في الثلاثين من عمرها درست الفلسفة كمادة رئيسية وتخرجت بدرجات شرف عالية، ولها نشاط في حركات منع الأسلحة النووية والحركات ضد التمييز العنصري.

يتبع هذه الصورة عن سيرة ليندا ثماني إفادات، يُطلب من القراء أن يضعوا لها درجة احتمال يطبقونها على ليندا. من بين هذه الإفادات أن: ليندا تعمل صرافة في بنك؛ ليندا من ناشطات الحركات النسائية للمساواة بالذكور؛ ليندا متزوجة ولديها طفلان؛ ليندا تعيش في بلدة جامعية؛ ليندا ناشطة في الحركات النسائية وكذلك تعمل صرافة في بنك.

يقول كوهلر: مرة بعد الأخرى يعتقد القراء أنهم يعرفون ليندا. ليندا إحدى الناشطات نسائيًّا — يضعون احتمالاً عاليًا لذلك. وهي ربما تعيش في بلدة جامعية. أما الجزء المتعلق بزواجها وأطفالها، فمن يمكنه أن يخمن؟ وهكذا فإن هذا الجزء يقع في منتصف القائمة. ولكن ماذا عن أنها صرافة في بنك؟! هذا وصف لا يشابه ليندا مطلقًا، ويصل إلى متوسط من الاحتمالات يقع بعيدًا أسفل القائمة. على أنه من الممكن أن تكون ناشطة نسائيًّا «و» صرافة بنك معًا، أليس كذلك؟ يعطي القراء لهذه الإفادة المركبة نسبة احتمال أكبر من احتمال صرافة البنك وحدها. يقول كوهلر «هناك نسبة تقرب من ٩٠ في المائة فعلت ذلك. وهم يجادلون بأنها على وجه التأكيد ليست صرافة بنك، ولكن من السهل أن تكون صرافة بنك وناشطة نسائيًّا معًا. هذا على الأقل فيه بعض من ليندا. هذه هي الطريقة التي يبدو أن الناس يفكرون بها عن الاحتمال».

هناك بالطبع احتمال لأن تكون ليندا صرافة بنك بنسبة أكبر من احتمال أن تكون صرافة بنك وناشطة نسائيًّا معًا. حتى تكون صرافة بنك وناشطة نسائيًّا يجب أن تكون صرافة بنك؛ والاحتمال غير المشروط لأن يقع حدث واحد — وهو في هذه الحالة أن تكون صرافة بنك — يكون دائمًا أكبر من الاقتران المشروط لهذا الحدث مع حدث ثانٍ — صرافة البنك والدراية بأعمال سيمون دي بوفوار وجيردا ليرنر.[7]

ولكن حتى إذا كان الناس يوافقون على أن ليندا قد تكون صرافة بنك ناشطة نسائيًّا إلا أنهم يحسون بضيق عندما يفكرون في التوقع العام لأن تكون ليندا لفترة ما صرافة بنك. ربما يعتقد البعض أن استخدام هذا الوصف الوظيفي وحده فيه نفي لجانب أساسي من كيانها أو سوء تمثيل، أو إبخاس، تمامًا مثلما كنت أشعر بأن عليّ أن ألطف من إجابتي كلما سألني الناس عن عمل أبي: وأقول إنه كان ميكانيكيا في شركة «أوتيس» للمصاعد ولكنه كان أيضًا فنانًا يرسم رسومًا صعبة بالقلم والحبر، بمعنى أنه لم يكن مثل «أرشي بنكر».[8] أو بدلًا من ذلك، ربما يحدث أن الناس بلا وعي يشخصون الإفادة بأن «ليندا صرافة بنك» في عبارة «ولكنها ليست ناشطة نسائيًّا»، ليضعونها في تباين مباشر مع الإفادة بأن «ليندا ناشطة نسائية وصرافة بنك».

مهما كان مفهومًا وشعبيًّا ذلك الدافع الملح لأن نضع المقدمة المنطقية المشروطة في مرتبة أعلى من تلك غير المشروطة في الأوصاف المحتملة عن ليندا، إلا أن هذا خطأ، وعندما يدرك طلبة كوهلر خطأ تقديرهم، يشعرون أولًا بالغباء، ثم يتلهفون إلى محاولة خداع أفراد العائلة والأصدقاء كما خُدعوا هم، وبهذا فإنهم يحسون أخيرًا بالتحرر. وإلا فمن هم الآخرون الذين يمكن للطلبة أن يطبقوا عليهم معارفهم الجديدة، وإدراكهم لمدى أهمية اعتبار الخلفية؟

[7] سيمون دي بوفوار فيلسوفة وناشطة نسائية فرنسية في القرن العشرين، وجيردا ليرنر مؤرخة ومؤلفة أمريكية وكانت أيضًا ناشطة نسائيًّا. (المترجم)

[8] أرشي بنكر شخصية هزلية في مسلسل تليفزيوني عن أسرة عامل يميني رجعي في نزاع مع ابنه اليساري. (المترجم)

أوضح ما نتبين فيه فائدة متابعة فضاء العينات هو تفسير نتائج أحد الاختبارات الطبية. كشف عدد من الدراسات عن أن الأطباء لا يكونون دائمًا بارعين في تقدير الاحتمالات أو وضع نتيجة الاختبار في السياق الملائم، وهذا يعني أن المريض قد يؤدِّي به إلى نوبات من القلق، ومراجعة الذات، والتخطيط بلا ضرورة لإجراءات جنازته، أو على الأقل التخطيط لها قبل الأوان.

دعنا نأخذ مثلًا توضيحيًّا لذلك ولكنه افتراض محض، كما في السيناريو التالي: أنت في عيادة طبيب لإجراء فحص روتيني، ويصدف أن تلاحظ لافتة تعلن عن الحدث الخاص لهذا الشهر: اختبار «للإيدز» يوصف بأنه «دقيق بنسبة ٩٥ في المائة». وأنت لست بأي حال ممن يُعتبرون من مجموعات احتمالات الخطر العالية للإصابة بالمرض — حتى وإن كان قد حدث في سنوات الكلية أن أصبت بالفعل بقمل العانة — ولكنك كمواطن حي الضمير وصاحب وساوس مرضية عالية، تقرر أن تشمر من أكمامك وتجري الاختبار.

بعد ذلك بأسبوع يصلك اتصال تليفوني من ممرضة الاستقبال التي عينتها وكالة الوظائف المؤقتة والتي تعمل مكان ممرضة طبيبك في أخذ عينات الدم، وتخبرك بالأنباء الكئيبة: اختبارك إيجابي. تشعر بأن رأسك خلا من الدم ليتجمع في أخمص قدمك، ولا تستطيع الكلام. تغمغم ممرضة الاستقبال معربة عن مدى أسفها، ومدى حبها لدور الممثل توم هانكس كمريض للإيدز في فيلم «فيلادلفيا». ترى إلى حد ينبغي أن تشعر «أنت» بالأسى، خاصة وأنك لم تغفر قط لهانكس دوره في فيلم «رجل بفردة حذاء حمراء»؟ الاختبار «دقيق بنسبة ٩٥ في المائة»، نتيجتك إيجابية. بافتراض أن النتائج ليست ناجمة عن خطأ ميكانيكي رئيسي مثل تبديل لأنابيب الاختبار أو قوائم المعمل، هناك احتمال من ٩٥ في المائة بأن لديك عدوى بفيروس الإيدز، أهذا صحيح؟

هيا تنفس عميقًا في راحة. حتى لو كان سائلك الحيوي أو دمك هو الذي أعطى النتيجة الإيجابية، فإن الاحتمالات الحقيقية بأنك حقًّا حالة

إيجابية من الإصابة بفيروس نقص المناعة البشري أقل كثيرًا جدًّا جدًّا من ٩٥ بالمائة. عند المخارج الحيوية للسوق الحرة في إحدى الموانئ، يمكن أن يتباين تعريف دقة الاختبار حسب احتياجات ومزاج الشركة الدوائية المنتجة، على أن هذا الرقم يعني عمومًا التالي: الاختبار من ناحية يكشف بدقة عن فيروس نقص المناعة البشري في ٩٥ بالمائة من أولئك الذين لديهم الفيروس ولكنه يفشل في الكشف عن ٥ بالمائة ممن أصيبوا بالعدوى؛ أما من الناحية الأخرى، فإن الاختبار يقيّم على نحو صحيح أن بالمائة٩٥ في المائة من كل غير الحاملين للفيروس هي حالات سلبية، ولكن — وها هنا يأتي ما يبعث الراحة في نفسك — الاختبار تتولد عنه خطأً نتيجة إيجابية بالنسبة لخمسة في المائة من الأفراد غير المصابين بالعدوى. لماذا ينبغي أن تجد عزاء في رقم ضئيل مثل ٥ في المائة للنتائج الإيجابية الزائفة؟ لأن المستودع المحتمل، أي فضاء العينة الذي يتجسد في هذا الرقم، هائل عظيم. العدوى بفيروس نقص المناعة البشرية لا تزال نسبيًّا نادرة في الولايات المتحدة، تصيب نسبة تقرب من واحد من كل ٣٥٠ فردًا. لو نظرنا إلى المشكلة بنظرة تهتم أكثر بتعداد السكان، فإن هذا يعني أنه من بين عينة عشوائية من ١٠٠٠٠٠ أمريكي هناك ما يقرب من ٢٨٥ فردًا سيعطون نتيجة إيجابية للعدوى بهذا الفيروس، وهناك ٩٩٧١٥ من الأفراد لا يعطون نتيجة إيجابية. إلا أننا لو فحصنا كل المائة ألف باختبارنا للإيدز، ماذا تكون النتائج المتوقعة؟ سيلتقط التقييم على وجه صحيح ٢٧١ حالة من بين ٢٨٥ حالة لحاملي الفيروس؛ ولكنه سيصيب بالذعر ٤٩٨٦ فردًا من غير حاملي الفيروس فيرتعبون من لعنة زائفة. حتى تحسب الاحتمالات بأن نتيجة إيجابية تعني أنك أصبت بالعدوى فعلًا، عليك أن تجري عملية قسمة للعدد الكلي للنتائج الإيجابية الحقيقية التي تتوقعها في فضاء عيناتك (٢٧١) على العدد الكلى للنتائج الإيجابية — الإيجابية الكاذبة (٤٩٨٦) مع الإيجابية الحقيقية (٢٧١). اقسم ٢٧١ على ٥٢٥٧ وسوف تنتهي إلى احتمال من ٥ في المائة. الأساس الذي تقوم عليه قضية هذا الحديث التليفوني الفاجع يصل إذن إلى الرقم العنيف الذي أثار مخاوفك أولًا،

نسبة ٩٥ في المائة: ولكنها هذه المرة نسبة ٩٥ في المائة بأنك «خال» من الفيروس.[٩]

لا يعني أي من هذا أن من السهل تقدير الاحتمالات في معظم أوضاع العالم الواقعي، أو أنك ينبغي أن تأخذ في حسابات تخمينات ثانية للاستشارة الطبية بفحص نتائج اختبارك من خلال تحليل إحصائي في اتجاهين من نوع تحليل «أنوفا» أو «تحليل التغاير»، على أنه لن يكون هناك ضرر أبدًا من توجيه بعض أسئلة بسيطة، كأن نسأل: ما مدى انتشار هذا المرض أو هذه الحالة بين السكان عامة؟ وبكلمات أخرى، ما هو حجم فضاء العينة الذي نواجهه؟ يفيد هذا السؤال على وجه الخصوص في محاولة الحصول على معنى معقول «لعامل الخطر»، أو «للاحتمال النسبي للتعرض للخطر» بالمقارنة مع عدد السكان. وكمثل يقال إن التعرض لحروق من الشمس لخمس مرات قبل سن الخامسة عشرة يضاعف من احتمال نشأة سرطان الجلد من نوع الميلانوما الخبيثة. وهذا شيء مروع! أيام تعسة قليلة في مخيم «مينيهانا» تقضيها في نزع شظايا المجداف من راحة يدك وتلقي دروس عملية جماعية تحت شمس الظهيرة المكتملة، يمكن لهذا أن يؤدي إلى زيادة من «مائة في المائة» لاحتمال خطر إصابتك بسرطان بالجلد الذي قد يكون مميتًا؟ نعم، ولكن كما يتفق فإن سرطان الميلانوما نادر إلى حد بعيد ويصيب فقط ١,٥ في المائة من سكان الولايات المتحدة؛ إذن فحتى مع وجود إرث من حروق مثيرة للقلق منذ طفولتك، وبافتراض عدم وجود عوامل أخرى تزيد من احتمالات الخطر، مثل تاريخ عائلي للمرض، فإنك ما زلت تتحدث عن عوامل خطر على مدى العمر نسبتها أقل من ٤ في المائة. وعلى أي حال عليك أن تلاحظ أي ظهور لشامة جديدة في الجلد، خاصة ما يكون في شكل حبات العنب، أو شكل بقع اختبار «رورشاش» النفسي، أو

[٩] ينبغي أن أؤكد على أن «دقة رقم ٩٥ في المائة» المذكورة أعلاه هي أمر افتراضي تمامًا على نحو جازم، وأن معدل الدقة الحقيقي للاختبارات الحالية لفيروس نقص المناعة البشري أفضل كثيرًا وأعلى من نسبة ٩٩,٩ في المائة. ومع ذلك فإن استخدام الاختبارات الطبية للفحص و«أبحاث الفرز الروتينية» يتزايد زيادة حادة، والكثير منها يعاني من معدلات عالية بصورة مؤسفة النتائج الإيجابية الكاذبة غير الافتراضية، والتي تثير هكذا القلق والاكتئاب. «وهذا تحذير قانوني للمرضى». (المؤلفة)

ما يشبه حرفيًّا الرسوم الكاريكاتورية لدافيد ليفين، وتأكد أنك أنت وكل من تحبهم تكونون في حماية كاملة لمستحضر واقٍ من الشمس قبل أن تفتح شيش النافذة، أما أن تضع رقم جهاز استدعاء طبيبك الجلدي بين أرقام نداء الطوارئ السريع، فهذا بكل تأكيد فيه مبالغة.

ربما تريد أن تسأل طبيبك أيضًا عما نشر عن معدلات النتائج السلبية الزائفة والإيجابية الزائفة لاختبار فحص معين، وعما إذا كان قياس هذه الإحصائيات عن الدقة هو نفسه قياس دقيق. معظم محترفي الرعاية الصحية، رغم وصفهم هكذا، يهتمون بتشخيص «الأمراض» وعلاجها إلى حد أبعد كثيرًا من اهتمامهم بتقليل عدد الإنذارات الكاذبة التي قد يثيرها بين الأصحاء ما يجرونه من اختبارات الفرز. الأمر كما يرونه هم، هو أن فوات تشخيص حالة حقيقية من المرض يعد أسوأ من اكتشاف ما يبدو في أول الأمر كحالة مزعجة ثم يتبين في النهاية أنك، وياللعجب، في أحسن صحة. على أنه بالنسبة لك أنت العميل الطبي، فإن التأثير المدمر لنتيجة إيجابية كاذبة، مهما كان ذلك لزمن قصير، يمكن أن يجعلك تشعر كأنك مريض، ومن ثم إذا كان هناك أي طريقة لمحاربة ذلك بتقدير مثل التقدير الذي قدرناه لاختبارنا الافتراضي للإيدز، فإننا يجب أن ننطلق لنواصل الحديث عن ذلك.

هناك طريقة أخرى تجعلنا نحس براحة أكثر فيما يتعلق بالاستدلال الكمي، وهي أن نحاول ممارسته في البيت، بادئين بتدريب ممتع سوف أسميه — إلى أن يوقفني أحد عن ذلك — باسم «مرونة فيرمي» على اسم عالم الفيزياء العظيم الإيطالي إنريكو فيرمي. إلى جانب أنه أحد عمالقة العلم في القرن العشرين، كان فيرمي أيضًا قائد مشروع مانهاتن[١٠] أثناء الحرب العالمية الثانية، وهي مهمة كان بها لسبب ما لحظات عصيبة. حتى يقوي فيرمي من معنويات زملائه في صنع القنبلة ويجدد نسيج أعصابهم المتهرئة كان يطرح عليهم تحديات عقلية مراوغة. وهكذا فإنه قد يسأل، ما هو عدد من يضبطون أوتار البيانو في شيكاغو؟ أو ما هو عدد أرطال

[١٠] مشروع مانهاتن مشروع إنتاج أول قنبلة ذرية. (المترجم)

الطعام التي تأكلها سنويًّا؟ يرى فيرمي أن عالِم الفيزياء الجيد، أو أي مفكر جيد، ينبغي أن يكون قادرًا على أن يصمم أي شيء يُنشأ لغرض خاص واحد، وأن يضع خطة تتدرج خطوة فخطوة لمهاجمة أي مشكلة بالفعل ليتوصل إلى إجابة تكمن داخل تلك المنطقة التي تحظى بكثير من الإطراء التي تعرف بأنها «رتبة الكبر». وبعبارة أخرى، لا يجب عليك أن تضرب أو تقسم تقديرك بعامل من عشرة أو أكثر لتقبل الإجابة الحقيقية. إذا كانت الإجابة الحقيقية هي ٥٤٠٠، ينبغي أن تكون قادرًا على الحصول على تقدير داخل مدى من ١٠٠٠ حتى ٩٩٩٩، وإذا كانت الإجابة هي ٣٣٠٠٠، فسيمتد حد فيرمي المقبول بين ١٠٠٠٠ حتى ٩٩,٩٩٩.

هذه طريقة مرنة بدرجة كافية، ولكن كيف ستتمكن من أن تبدأ حتى بتقريب أبعاد مهنة غامضة مثل ضبط أوتار البيانو في مدينة ليس لك بها أي معرفة سوى أقل معرفة عارضة عاجلة بمطارها؟ لورنس كراوس عالِم فيزياء لا يخاف، ومع ذلك ألف كتابًا يثير الإعجاب، عنوانه «الخوف من الفيزياء»، يبين لنا فيه كيف أن شيكاغو هي كما يقول إحدى أكبر مدن أمتنا، الأمر الذي يعني أن سكانها يجب أن يصلوا إلى نطاق الملايين العديدة، ولكن ليس إلى حد الملايين الثمانية كما هو الحال في نيويورك مدينة الحضر الأمريكية ذات الثقل. دعنا نقُل إن شيكاغو بها أربعة ملايين نسمة، فكم عدد المساكن بها؟ ستقول إن هناك أربعة أفراد لكل مسكن، أي أن هناك ما يقرب من مليون مسكن. هيا نفكر في معدل امتلاك آلة البيانو بين معارفك: ربما بمعدل عشرة في المائة من البيوت التي تعرفها؟ سيكون لدينا تقريبًا ١٠٠٠٠٠ آلة بيانو في شيكاغو تحتاج من آن لآخر إلى ضبط أوتارها. ما هو معدل «من آن إلى آخر». يبدو أن معدل مرة في السنة تخمين معقول، وليكن ذلك بأجر يكون مثلًا ٧٥ إلى ١٠٠ دولار لكل مرة للضبط. والآن دعنا ننظر أمر عدد آلات البيانو التي يجب أن يضبطها المختص بالضبط والذي يعمل بهذه المهنة طول الوقت، حتى يفي بمطالب حياته. ربما يكون هذا العدد آلتين في كل يوم، أي عشرة في الأسبوع، أي ٤٠٠ إلى ٥٠٠ في كل سنة؟ هكذا تقسم ١٠٠٠٠٠ على ٤٠٠ أو ٥٠٠. مع حساب كل مصادفات

التخمينات ربما نتوقع أن نجد قوة عمل من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ فردًا يشدون الأوتار في مكان ما من مدينة محل الميلاد الأسطوري لناطحات السحاب، ورجال العصابات الأنيقين، والفرقة اللطيفة لموسيقى الروك التي سميت رمزيًّا باسم المدينة منذ سبعينيات القرن العشرين. حسب أوامر جلالة ملك «رتبة الكبر» يكتب لنا كراوس ان: «هذا التقدير الذي حصلنا عليه سريعًا، يقول لنا إننا سندهش لو وجدنا أن عدد ضابطي أوتار البيانو يقل عما يقرب من المائة أو يزيد عما يقرب من الألف.» لا حاجة للجوء للعلاج بالصدمة: الإجابة الفعلية هي ما يقرب من ١٥٠.

حان دوري أنا، قررت أن أحاول تقدير عدد حافلات المدارس في المقاطعة التي أقطن بها في ولاية ماريلاند وهي مقاطعة مونتجمري، التي تمتد من حدود واشنطن العاصمة، عند الحد الجنوبي حتى مناطق في الشمال قرب بالتيمور. في الأساس، كان عندي فضول لمعرفة عدد الحافلات التي تقبع دون عمل أثناء العدد الهائل من أيام «الثلج» في المقاطعة، وأيام الثلج في هذه الولاية المخادعة النافرة من الزراعة لا يتم الإعلان عنها على أساس التحقق من تراكمات تلك المادة البيضاء الرقيقة التي تسمى «بالثلج»، وإنما على أساس التحذير المسبق من الثلج الذي يتقرر بناء على عامل واحد: قبل أن تغامر بالخروج، يجب أن ترتدي شيئًا يسمى «المعطف».

على أي حال، ما هو العدد الذي تستطيع مقاطعة مونتجمري أن تزعم أنها تمتلكه من عربات الأطفال هذه ذات اللون الأصفر البهيج؟ نتيجةً لما يستحوذ عليّ من التدقيق في نتائج الانتخابات في نوفمبر، اتفق أني أعرف أن المقاطعة لها عدد من الناخبين المسجلين يقرب من ٥٠٠٠٠٠ ناخب. وأعرف أيضًا أنه مع قرب المقاطعة من عاصمة البلاد، فإن المنطقة مكهربة سياسيًّا ولها معدل مرتفع لتسجيل الناخبين، ربما يكون ٧٠ في المائة من المواطنين الذين يحق لهم الانتخاب. وهكذا سأقدر عدد السكان البالغين بأنه يقرب من ٦٥٠٠٠٠ أو ما يقرب من ٣٠٠٠٠٠ من الأزواج المحتملين. ما هو عدد هؤلاء الأزواج البالغين ممن يتراوح عمرهم بين الخامسة والعشرين والخامسة والخمسين، وهي الشريحة السكانية التي يرجح أن يكون لديها أطفال في

سن المدرسة؟ دعنا نقُل إنهم ١٥٠٠٠٠ من الأزواج. ودعنا نقُل إن نصفهم عندهم أطفال، وأكثر عدد شائع للأطفال هو طفلان لكل زوجين، ربما يكون متوسط عددهم في المدارس ١,٥ من الأطفال. يعطينا هذا ١١٠٠٠٠ من الأطفال في منظومة المدارس لمقاطعة مونتجمري. بعض هؤلاء الأطفال في مدارس خاصة، والبعض يعيشون على مسافة قريبة من المدرسة يمكنهم أن يمشوها أو يتشامخوا بما يرثي له بالركوب إليها في سيارة خاصة. دعنا نختصر عدد المجموعة التي تستخدم الحافلات إلى النصف، أي إلى ٥٥٠٠٠. ما هو عدد الدارسين الصغار الذين يمكن حشدهم في عربة واحدة؟ لعله خمسون؟ هذا يهبط بنا إلى رقم من ١١٠٠ حافلة تقريبًا. ولكن قبل أن نستقر على تقديرنا التخميني، يجب أن نتذكر أن حافلات المدارس تنطلق في كل صباح في عدة رحلات بخطوط سير مختلفة، وهذا هو السبب في أن المراهقين البؤساء الذين يعيشون في جيرتي عليهم أن ينهضوا ويكونوا عند الباب ليلحقوا بحافلتهم عند الساعة ٧:١٥، بينما ابنتي التلميذة في المدرسة الابتدائية تنهض لتغادر بعد ذلك بسبعين دقيقة. بافتراض أن كل عربة تتخذ خطين للسير يوميًّا، يمكننا أن نراهن على أن هناك ما يقرب من ٥٥٠ حافلة مدرسية في منظومة المدارس العامة لمقاطعة مونتجمري. أو أن العدد هو على الأقل بين ١٠٠ إلى ١١٠٠ حافلة.

بمراجعة صفحة الويب الخاصة بمنظومة مدارس مقاطعة مونتجمري، وجدت أنها تمتلك ما يقرب من ٢٥٠ حافلة مدرسية، نصف المجموع الذي تنبأت به ولكنه عدد لا يزال في نطاق «رتبة الكبر» للعدد الذي توقعته. يمكنك حقًّا أن تنتهي إلى أنني كان يمكنني أن أوفر على نفسي هذا الجهد بأن ألجأ من أول الأمر إلى استشارة «الإنترنت»؛ ولكني لي تقديري الخاص لأهمية هذا التدريب، أي التفكير مليًّا في الأجزاء المختلفة من الأحجية — عدد البالغين القادرين على الإنجاب الذين قد يكونون من حولي، واحتمال أنهم يمارسون قدرتهم على الإنجاب، وعدد الأطفال من فئة ابنتي من الأفراد القياسيين في مجال الاختبار، وما إلى ذلك. ستحصل عن طريق الدورات المنتظمة من «مرونة فيرمي» على حس أفضل بالطريقة التي يبدو بها العالم

وكيف تتلاءم أجزاؤه معًا. ستتعلم أنك عندما تقر بأنك لا تعرف شيئًا ما فإن هذا في حد ذاته نوع من مهارة لها جدارتها، وأثناء ذلك ستعرف شيئًا أفضل وهو أنك تستطيع أن تحشد خوارزما[11] لتتخلص من جهلك. قد تتحدث إلى زميل عمل ويخبرك أن هدفه هو أن يهرول إلى مسافة تساوي القيام بدورة حول الأرض، وتدرك في شيء من الحرج أنك لا تعرف أو لا تستطيع أن تتذكر ما يكونه محيط الأرض، كما أنك لا تكن لزميل العمل هذا المتعجرف حبًّا كافيًا لأن ترضي غروره بأن تسأله متأوهًا، ترى كم تكون هذه المسافة؟ ولكنك تستطيع أن تجري تقديرًا سريعًا نوعًا ما. هيا فكر في بعض تفصيل تعرفه عن الكرة الأرضية — مثلًا زمن ووجهة رحلة طيران طويلة جدًّا. طار زوجي مؤخرًا رحلة بلا توقف من نيويورك إلى سنغافورة في طائرة لشركة طيران سنغافورة؛ على الرغم من أنه نام معظم الوقت في رحلة الثماني عشرة ساعة هذه، إلا أنه أمكنه جمع بعض أشياء طريفة مثل قربة ماء ساخن جذابة وزوج حذاء برقبة قصيرة له سيور أسفله ضد الانزلاق. تقع سنغافورة على مسافة بعيدة جدًّا من ساحل أمريكا الشرقي، بما يقرب من نصف المسافة حول الكرة الأرضية فيما أخمن. تصل سرعة الطائرات النفاثة في المتوسط إلى ما يقرب من ٥٠٠ إلى ٦٠٠ ميل كل ساعة. هكذا تكون المسافة إلى سنغافورة ٩٠٠٠ إلى ١١٠٠٠ ميل، وتكون مسافة الدورة حول الأرض ضعف ذلك بما يقدر بين ١٨٠٠٠ إلى ٢٢٠٠٠ ميل. الحقيقة أن محيط الأرض هو ٢٤٩٠٢ من الأميال عند خط الاستواء (أو ٤٠٠٧٦ من الكيلومترات بالنسبة لمعظم سكان الأرض بما في ذلك من يعيشون عند خط الاستواء). هكذا فإن إجابتنا التي حصلنا عليها من رجلنا كثير الطيران تتلاءم جيدًا في نطاق «رتبة الكبر» عند فيرمي. إلا أنه إذا كانت أوضاع الطيران النفاث تعد أحد العوامل، فإن الهرولة حرفيًّا حول الكرة الأرضية لهي عامل آخر تمامًا. عندما ترمق المحيط الشاسع لخصر

[11] الخوارزم: قاعدة لحل مشكلة رياضية في عدد محدد من الخطوات؛ أو مجموعة من التعليمات أو الخطوات مصممة لتوفير طريقة لحل مشكلة أو الوصول إلى نتيجة (كمبيوتر)؛ أو طريقة تدريجية خطوة فخطوة لحل مشكلة كثيرًا ما تكون في صيغة أشكال متتالية. (المترجم)

زميلك، والذي لا ينم عن التكوين الجسدي الطبيعي لأحد الرياضيين، سوف تبتسم عندها ابتسامة عريضة وتتمني له رحلة سريعة مباركة. ثم كيف؟ هذا مجرد إجراء من استدلال كمي وقد جعلك تبدو كشخص طيب لطيف.

مع كل قوة الاستدلال الكمي والتحليل الاحتمالي، إلا أن مارك توين،[١٢] كما هو حاله دائمًا، له رأيه عن الإحصائيات. اللعنة، إنها تستطيع أن تكذب. هناك كتاب من كتب العلوم المبسطة يعد من أرقى وأمتع ما كتب منها وهو الكتاب الكلاسيكي لعام ١٩٥٤م وعنوانه «كيف تكذب بالإحصائيات»، وقد ألفه داريل هوف، وموضوعه أن الخبراء يفعلون بك ذلك بالضبط ويكذبون عليك كل يوم. خذ مثلًا وصف نتيجة بمصطلح أن «لها معنى إحصائيًّا» وهو مصطلح يتم تداوله كثيرًا ويبدو أنه يُحتمى به كثيرًا. توصف إحدى النتائج أنها «إحصائيًّا ذات معنى» ويبدو الأمر وكأنه لا مجال لأي مناقشة هكذا. يقول ألفان فينشتين أستاذ الطب والوبائيات في مدرسة الطب بجامعة ييل: «هناك حتى بعض علماء وأطباء غُسل مخهم بحيث يظنون أن هذه العبارة السحرية هي الإجابة عن كل شيء. ولكن ما الذي تعنيه عبارة «له معنى إحصائي»؟ على الرغم من أن التعاريف تتباين حسب من يعرّف، إلا أن هذه العبارة بغير زخرفة تعني عمومًا أن علاقة الارتباط التي وقع عليها أحد العلماء — مثلًا: ترابط بين طفرة وراثية بعينها وأحد الأمراض — لها قيمة احتمال أو قيمة (p) بنسبة ٥ في المائة، وهذه الأخيرة تعني بدورها أن هناك بأقصى حد فرصة بنسبة ٥ في المائة أن تكون علاقة الارتباط التي تكاد تسجل براءة لها، هي علاقة ارتباط ترجع إلى الصدفة وحدها. وبكلمات أخرى هناك احتمال من ٩٥ في المائة بأنك وصلت إلى شيء له أهميته. قيمة «(p) تساوي ٠,٠٥» هي أقل درجات النجاح، وهي حسب التقليد العلمي القيمة التي تجعل إحدى النتائج «لها معنى إحصائي» وجديرة بتقديمها لما لا يقل عن ٢٠٠٠٠ أو ما يقرب من دوريات الأبحاث المنتشرة التي تصدر عبر العالم. إلا أن علينا أن نضع في الاعتبار كيف أنه من السهل سحق هذه

---

[١٢] مارك توين (١٨٣٥–١٩١٠م) كاتب أمريكي ساخر. (المترجم)

الدرجة من الأهمية إلى شيء مترهل لا معنى له. اختبار الإيدز الافتراضي الذي ناقشناه فيما سبق له قيمة (p) من ٠,٠٥؛ هذا هو كل ما يدور حوله القول بأن له معدل «دقة من ٩٥ في المائة». والنتيجة عبارة عن مستودع من النتائج الإيجابية الكاذبة يبلغ من كبر حجمه أنه يصلح كميدان لدورات السباق. هذا هو السبب في أن الكثيرين من العلماء لا يشعرون بالارتياح لهذا القياس الفضفاض لنسبة الثقة، ولا ينشرون نتائجهم إلا إذا كانت قيمة (p) لها صفران آخران على يمين العلامة العشرية، ويكون احتمال أن تكون النتيجة مجرد رمية بغير رام يساوي إلى حد بعيد احتمال مثلًا الفوز بجائزة نوبل مرتين.

هناك مصطلح إحصائي آخر مراوغ شق طريقه لاستخدامه استخدامًا شائعًا ولإساءة استخدامه سياسيًّا، وهو مصطلح «المتوسط». مثال ذلك القول بأن: برنامج الرئيس لخفض الضريبة سيعيد لدافعيها مبلغًا هو في المتوسط ١٥٠٠ من الدولارات. يبدو هذا سخيًّا إلى حد بعيد، حتى تكتشف أن «المتوسط» الإحصائي لا يعني «المقدار العادي» من الحسم أو التنزيل الذي يمكن أن تتوقع عائلة أمريكية «من النوع العادي» أن تراه. المتوسط الإحصائي الذي يعرف أيضًا بأنه المعيار، هو «الوسط» الإحصائي، رقم تحصل عليه بأن تجمع معًا كل مقاديرك وتقسم حاصل الجمع على عدد نقط البيانات — وفي هذه الحالة يقسم الإجمالي الكلي للضرائب التي ستعود إلى دافعيها على عدد شيكات الخصم الذي سيرد لهم. المشكلة في الحسابات من هذا النوع هو مدى السهولة التي يمكن بها تحريفها، كأن يُضمَّن في الحساب — على سبيل المثال — عدد قليل من مبالغ الضرائب المعادة ولكنها مبالغ ضخمة. قد يكون لدينا عشرون أسرة تعيش في جادة كريسنون في حي برونكس الشعبي تستعيد كل منها مبلغًا من الضرائب يراوح بين ١٠٠ و٣٠٠ دولار لكل أسرة، إلا أن هناك عائلة واحدة تسكن في طابق بأكمله في شارع «جرامرسي بارك» في منطقة مانهاتن الباذخة، نالت من مصلحة الضرائب» خطابًا بمبلغ من ٧٠٠٠٠ من الدولارات، سنجد عندها أن «متوسط» الضرائب التي تستعيدها تلك العائلات الواحدة والعشرون

هو ٣٥٠٠ دولار. ويقول ساكن برونكس: هذا رائع، أشعر فعلًا بأني أكثر ثراء. هل تمانع في أن أحييك تحية على طريقة برونكس؟

هناك إحدى النقط عن البيانات توضح الأمور توضيحًا أكبر كثيرًا، وهي ما يسمى الرقم «الوسيط» لهذا الخفض للضرائب، القيمة التي تراها إذا صنفت كل واحد من شيكات إعادة الضرائب الواحد والعشرين في صف يبدأ من أقلها حتى أكبرها ونظرت إلى الرقم عند نقطة الوسط من المبالغ المعادة — الشيك الحادي عشر، فستكون قيمته ما يقرب من مائتي دولار، وهذا مقياس أصدق كثيرًا بالنسبة لما يتلقاه جونز الرجل المتوسط في عينتنا، أصدق مما يعبر عنه رقم «المتوسط» المربك. في أيامنا هذه، باعتبار الفجوة العميقة بين الثراء المتطرف والدخل العادي في بلادنا، تكون أفضل طريقة لاستكشاف الأمور المالية هي استخدام أرقام الوسيط بدلًا من أرقام المتوسط أو المعيار. إذا ضمّنت ثروة عدد قليل من أمثال البليونيران بيل جيتس ووارين بفيت في أي حساب «لمعايير الدخل»، ستجعل السكان كلهم يبدون في حال مزدهر مريح، حتى ولو كانت الأغلبية العظمى من العائلات تكتسب دخلًا تقل قيمته عن المتوسط الذي ذكرته أو يقل حقًّا عما قد يحتاجون إليه لتغطية الفاتورة الشهرية لبطاقتهم الائتمانية من نوع «فيزا».

على أن أرقام الوسط والمتوسط ليست دائمًا غير متوافقة. كثيرًا ما يحدث أنها تتجمع متقاربة تحت الظل الوارف للمظلة المشهورة التي نعرفها باسم «منحنى الجرس». بكل أسف اتخذ هذا المصطلح العلمي الأساسي دلالة مضمنة في مذهب المحافظين الجدد[١٣] في منتصف تسعينيات القرن العشرين، عندما اتخذ تشارلز موراي وريتشارد هيرنشتين هذا الاسم عنوانًا لكتابهما[١٤] عن العرق ومعامل الذكاء، وهو كتاب كان في قائمة الكتب الأكثر مبيعًا. إلا أن مفهوم «منحنى الجرس» أكثرُ عمقًا وتنويرًا من كتاب

[١٣] المحافظون الجدد: معتنقو فلسفة سياسية في الولايات المتحدة ترفض اللبرالية الاجتماعية واليسار الأمريكي الجديد، ويرى معتنقوها أن الولايات المتحدة مسئولة عن نشر هذه الفلسفة عالميًّا ولو بالقوة! أثرت هذه الفلسفة اليمينية الرجعية في سياسيات فترة رئاسة ريجان وجورج دابليو بوش. (المترجم)

[١٤] كتاب يدور حول أن السود في أمريكا لهم معامل ذكاء منخفض محتوم وراثيًّا، وهي نظرة ثبت خطؤها علميًّا، ومع ذلك لا تزال موجودة لتستغل سياسيًّا. (المترجم)

«منحنى الجرس». عندما تنطلق قدمًا لقياس أجزاء العالم ستجد أن الكثير من قياسات العالم تستقر على نحو خارق داخل منحنيات جرس. عندما تخرج إلى حقل أقحوان، وتقيس طول عدد من الزهور هو مثلًا ثلاثمائة زهرة، وترسم هذه الأطوال في شكل بياني، ستجد عددًا قليلًا من الزهور القصيرة عند الجزء الأيسر من الشكل، وعددًا قليلا من مجموعة بالغة الطول إلى اليمين، إلا أن الأغلبية العظمى تتكتل في المدى الأوسط، ويكون الإطار المحيط بخريطة توزيعك في شكل هو — حقًّا — شكل جرس يدق. ستجد الشيء نفسه فيما يتعلق بالقياسات التي قد تجريها لأوراق الأقحوان، أو لقطر مراكزها الصفراء. ستحصل على بعض الأمثلة الشاذة لأية سمة بعينها — أوراق قصيرة غليظة، القليل مما يبدو كوجه فطيرة القمر — ولكن معظم المقاييس سيتجمع حول قيمة مركزية، سواء تصورتها كوسط أو متوسط، فإنها ستحدد بدرجة كبيرة الأبعاد المتوسطة لهذه السفيرات من الزهور الفاتنات بأقصى درجة عيارية من الفتنة.

تبعث ديبوراه نولان الحياة في منحنى الجرس بفصلها الدراسي، بأن تلعب دور الخياط لطلابها. «آخذ لهم قياسات كثيرة مختلفة، الطول، عرض الكتف، المسافة من الكتف إلى المرفق، ومن المرفق إلى أطراف الأصابع، المسافة من الخنصر إلى الإبهام.» ترسم على السبورة نتائج كل قياس لطلابها الخمسين أو الستين، وتبين نولان لهم كيف أن الطبيعة تهيم إعجابًا بشكل حدبة الجرس الجميل.

الإطار لمحيط بمنحنى الجرس هذا نفسه هو الذي يحدد أيضًا شكل نتائج نوبات قذف العملة. إذا نفذت ١٠٠٠ نوبة كل واحدة منها من مائة قذفة للعملة، ستجد نثارًا من نسب منحرفة حقًّا، كأن تجد مثلًا ٧١ وجه صورة و٢٩ وجه كتابة، أو حتى فلتة من أوجه كتابة تقرب من أرقام الثمانينيات، مع أوجه صورة تقرب من العشريات، إلا أن الأغلبية العظمى ستكون قريبة من خمسين وجه للصورة وخمسين للكتابة.

إيجاد الإطار المحيط للتوزيع الطبيعي لمشكلة معينة يعد جزءًا مما يدور حوله العِلم كله. ما هي قيمة الوسط عندك، وكيف تعرف أنك توصلت

إليها؟ عندما تحاول الكشف عن متوسط استهلاك الكحول بين الطلبة في كلية محلية، ما هو عدد الأفراد الذين يجب أن تجري لقاءً معهم لتشعر بالثقة من أن عيناتك لم تكن بغير قصد منك قد أُخذت من عدد أقل مما ينبغي من صبية يكونون نوعًا على علاقة صداقة متينة أكثر مما ينبغي، أو كاذبين، أو من طائفة السبتيين؟[١٥] متى تعرف أنك قد جمعت عددًا كافيًا من العينات لتكون النقطة الوسطى لمنحنى جرسك لها معنى، بحيث تدخل في إسارها الشريحة الممثلة للحقيقة التي تطلبها؟ أنت لا تريد أن تنتهي بما انتهى إليه ثلاثة من الإحصائيين خرجوا ليصطادوا البط: أطلق أولهم طلقة مرت فوق البطة على بعد ست بوصات، وأطلق الثاني طلقة تحت البطة بست بوصات، وصاح الثالث متهللًا: «لقد أصبناها!» القواعد التي تحدد سلامة حجم العينة قواعد معقدة وتعتمد على تفاصيل المشكلة، لكن هناك مبدأين يُطبقان عمومًا: ينبغي أن تكون العينة كبيرة بقدر ما هو ممكن عمليًّا واقتصاديًّا؛ وما إن يستقر الأمر بشأن المجموعة أو العشيرة الإحصائية، ينبغي أن تكون شبكة أخذ العينات محكمة الخيوط بقدر ما يمكنك. ما من شيء يفسد مصداقية العينة مثل رغبة أحدهم في أن يؤخذ كعينة، وهذا هو السبب في أننا نجد أن نتائج المسح الجنسي لقراء مجلة «مكسيم» قد تكون كاشفة بدرجة أقل كثيرًا من أي من قطع الملابس التي ترتديها الإناث المعروضات في المجلة. مستطلع الرأي البارع يتصيد المرة بعد الأخرى أقل الناس رغبة في التعاون.

الحقيقة أن هناك أشياء كثيرة في الحياة يتطابق منحنى توزيعها مع نمط منحنى الجرس في توزيع نقط البيانات، ابتداء من طول الخنصر البشري حتى دحرجة النرد، وهذه الحقيقة تقول شيئًا أساسيًّا، وإن كان فيه إمكان للإحباط بشأن الحياة، وهو أن من الأسهل كثيرًا أن نكون عاديين — أي أن تستقر في نطاق التوزيع الطبيعي لأي فئة تقيسها — فهذا أسهل كثيرًا من أن تكون بارزًا خارج هذا النطاق (أو فيما يتعلق أيضًا بذلك، أن تكون في

[١٥] السبتيون أفراد طائفة مسيحية تؤمن بأن رجوع المسيح ونهاية العالم أصبحا قريبين. (المترجم)

حالة قصور فادح). يريد الآباء لكل واحد من ذريتهم أن يكون ما يُزعم أن جرترود شتين قد أسمته «بعض شخص خالد، سواء في هذا أو ذاك»؛ ودائمًا ما تظهر لقطات حافزة في التليفزيون العام تصور الأطفال يحلمون بأن ينجحوا نجاحًا عظيمًا — أن يكون الواحد منهم المخترع توماس أديسون الثاني، أو كبير طهاة مشهور عالميًّا، أو أول رائد فضاء يهبط على المريخ. إلا أن نظرية التوزيع تكشف عن أن القيم تتجمع حول نقط وسطى، وأن ما يتصف بأنه عادي يحب وجود صحبة معه. ونتيجة لذلك، فإن الطريقة الوحيدة لأن يكون معظم الأطفال «بارزين»، أو من «خامة عبقرية»، أو حتى مجرد أطفال «موهوبين أو قديرين»، هي أن نعيد تعريف مصطلحاتنا (لا ريب في أنك خارق للمعتاد: فلا يوجد أبدًا في تاريخ الجنس البشري أي فرد لديه بالضبط دنا مثل دنا الخاص بك!)، أو أن تحسن من درجاتك بصورة ملحوظة أو أن تخفض منزلتك تمامًا.

منحنيات الأجراس ليست مصبوبة من البرونز، ونقاطها الوسطى يمكن أن تُستدرج نوعًا إلى اتجاه مفضل، ويكون هذا عادة تدريجيًّا وأحيانًا بصورة كبيرة. ومثال لذلك، أن تغييرات قليلة في إجراءات الصحة العامة، مثل ضخ المجاري خارج المدينة بدلًا من سكبها من النافذة، وتشجيع الأطباء على غسل أيديهم بين المريض والآخر، هذه التغييرات أدت إلى أن تضاعف تقريبًا مدى العمر في الولايات المتحدة في الفترة ما بين منتصف سنوات القرن التاسع عشر ومنتصف سنوات القرن العشرين. حدثت في القرن العشرين وثبة أخرى عالية، حيث تبين أن الأطفال الأمريكيين الذين ولدوا وتغذوا في أمريكا ووالداهم من المهاجرين، سرعان ما تفوقوا على والديهم ودفعوا عاليًا بقمتي المنحيين الجرسين للطول — أي قمة أطوال النساء، وقمة أطوال الرجال — مباشرة إلى أعلى عدة بوصات. ارتفع أيضًا متوسط درجات معدل الذكاء في النصف الأخير من القرن الماضي، لأسباب بقيت غير واضحة.

أيا كان الاتجاه الذي يتأرجح به منحنى الجرس، سيكون هناك دائمًا بروز كبير سمين جشع يمتص الجزء الأكبر من المجموعة أو العشيرة الإحصائية. بل إن الشد الذي يمارسه بروز الجرس يتواصل بصرامة حتى

إنه نال مصطلحًا خاصًّا به هو «الارتداد إلى الوسط» أو الانحدار إلى الوسط. حسب هذا المبدأ ينحو ما هو خارق للمعتاد إلى أن يفقد ابتعاده عن المعتاد بمرور الزمن. إذا كان هناك والدان طويلان طولًا غير عادي وأنجبا طفلًا، من المرجح أن يكون هذا الطفل أطول من المتوسط، ولكنه يكون أقصر قليلًا من الوالد المماثل أو الوالدة المماثلة في الجنس؛ وبكلمات أخرى فإنه يرتد تجاه الوسط. لماذا ينبغي أن يكون الأمر هكذا؟ لأن الوالدين وصلا إلى قامتهما المهيبة من خلال توليفة من الوراثيات وسلسلة من الصدف الصغيرة أثناء تناميهما، كلها انطلقت لتعمل على زيادة طولهما؛ وعلى الرغم من أنهما قد يمرران جينات تدعم عمومًا زيادة الطول، فإن ترتيب أوضاع الصدف التي أكدت على سموق قامتهما يُعاد في الجيل الجديد إلى وضع الصفر، ولا يرجح أن تترتب مرة أخرى هذه الأوضاع هي نفسها كسلسلة من النبضات الدافعة. من الممكن أن يحدث ذلك ولكن الاحتمالات تكون ضد وقوعه، تمامًا مثل ما تكون الاحتمالات عندما تقذف الأم قطعة عملة ويظهر وجه الصورة لخمس مرات متتالية، ثم تناول العملة لابنتها على أمل أن تكرر الابنة سريعًا النتيجة نفسها، ستكون الاحتمالات ضد ذلك بالقدر نفسه. وفي حين نجد أن متوسطات السكان في الطول والذكاء قد تتقدم عمومًا بمرور الزمن، لكن الارتداد إلى الوسط يعمل كثقل موازن، اتجاه إلى الاستقرار يساعد على أن تبقى دواعي الغرور محكومة.

يطرح جون آلن باولوس أن الارتداد إلى الوسط يمكن أن يفسر أسطورة نحس مجلة «الرياضة المصورة»: تلك الملاحظة الموجودة من قديم التي تقول إنه بعد أن يظهر أحد الرياضيين على غلاف هذه المجلة، لا يلبث هذا الشخص أن ينحدر به الحال، فيرمي الكرة مرتبكًا بلا هدف، أو يرمي ضربة البداية بطريقة خرقاء، أو يحاول الاعتداء على المعجبين. قد تنتج هذه التحولات اللانجومية عن ضغوط الشهرة، أو اعتقاد خرافي يصنَّف ضمن فئة النبوءة التي تحقق نفسها، ولكن باولوس له رأي آخر، يقول: «متى تظهر على غلاف مجلة «الرياضة المصورة»؟ عندما يكون أداؤك ممتازًا لفترة من الزمن امتيازًا خارقًا للمعتاد وتكون في القمة من لعبتك. هذا يتضمن أنك لن تكون

قادرًا على الاحتفاظ بوضعك الخارق لزمن أطول كثيرًا.» سوف تبدأ في الارتداد، مهما كان ذلك على نحو ضئيل، وتعود ثانية تجاه طرق الوسط.

يمكن القول بمثل ذلك عن الكثير من حالات الشفاء المعجز التي ترد في حوليات الطب البديل. كثيرًا ما يلجأ الناس إلى العلاجات البديلة إذا استمروا في مرضهم لبعض الوقت، وفشلوا في أن يجدوا ما يخلصهم منه في جراب التيار الرئيسي للطب. يفقد الناس هكذا قدرتهم على التفكير السليم، ويتلهفون على الخلاص من المرض. ينصح أحد الأصدقاء باستخدام حبوب لقاح من النحل، أو غضروف سمك القرش، أو مسحوق جمرة أو دمل في دب، ويقرر المرضى تجربة الأمر. بعد مرور أسبوع يحسون بالشفاء إلى حد بعيد؛ وبعد أسبوعين يكونون غاية في الحماس. لماذا لم يوصِ طبيبهم أول الأمر بمسحوق جمرة الدب؟ هل ذلك لأن شركات صناعة الدواء لا تستطيع تسجيل براءة اختراع له أو الربح منه، ولهذا لم توزع نشرات تعليمية عنه ولا عينات مجانية؟ أم أن الطبيب بلغ من ضيق تفكيره أنه لا يضع موضع الاعتبار علاجًا يبدو كأنه من نوع ما يمكن طلبه عن طريق الصفحات الخلفية لمجلة «أوتن ريدر»؟[16] ربما هذا. أو ربما يكون الشفاء لا علاقة له بتعاطي هذا النوع من البدع، وهو بدلًا من ذلك يقدم لنا مثلًا جديدًا للارتداد إلى الوسط. بعد أسابيع كثيرة من الاستقرار في وضع الخطر عند أقصى طرف من منحنى توزيع المرضى، ينزلق الناس عائدين إلى أحضان الصحة المريحة، أي المعيار الفيسيولوجي الذي يضمنه لنا جهازنا المناعي معظم الوقت ونعتبر أنه أمر مسلم به حتى يضيع منا.

يرجع الناس بسهولة الفضل فيما يحدث من شفاء تلقائي إلى بعض تصرف جرئ من ناحيتهم أو ممن ينوب عنهم، وهذا يثبت الرغبة البشرية في الشعور بأن المرء يتحكم في مصيره، نعم هذا حق. ولكنه أيضًا يؤكد استعدادنا لأن ندمج علاقة الارتباط مع علاقة السببية، وهذا يأتي بنا إلى طريقة أخرى قد تؤدي إلى خداعنا بالإحصائيات. عندما يتكرر وجود صفتين

[16] مجلة «أوتن ريدر» مجلة أمريكية تعيد طبع مقالات ومواد تؤخذ من وسائل الإعلام المختلفة بالإضافة إلى مقالات أصلية يكتبها محررو المجلة؛ والمجلة على اسم أحد منشئيها إريك أوتن. (المترجم)

أو حدثين في الحزمة نفسها، فإن مجرد هذا لا يعني أن إحداهما أو أحدهما مسئول عن الآخر. أحيانًا يكون من السهل تمييز استقلال بندين يكثر أن يرتبط وجودهما معًا. يوجد في السويد أفراد كثيرون من الشقر ويكونون زرق العيون، إلا أن من الواضح أن برود النظرات المحدقة عند الفايكنج ليس هو الذي جعل شعرهم أشقر، والعكس بالعكس. في أحيان أخرى، يبدو أن الصفات المقترنة معًا فيها ما يبشر كثيرًا بعلاقة سببية، إلا أننا يجب أن نكون حذرين حذرًا شديدًا قبل أن نأخذ في تخطيط رسم بياني لسلسلة الأحداث. مثال ذلك، أن الكثيرين ممن لا يكملون الدراسة الثانوية يدخنون السجائر. نجد بين البالغين في الولايات المتحدة أن ٣٥ في المائة ممن لم ينهوا قط تعليمهم الثانوي يدخنون بانتظام، بالمقارنة بنسبة ١٤ في المائة ممن حصلوا على الشهادة الثانوية. ولكن هل إحدى الخاصيتين في هذه العلاقة الارتباطية هي السبب في الأخرى، وإذا كان الأمر هكذا فمن الذي يفعل ماذا في من؟ هل السبب في أن من لم يكملوا تعليمهم الثانوي يدخنون بعدد يصل معدله إلى مرتين ونصف المرة من العدد بين خريجي الثانوي، هل السبب هو أنهم تركوا المدرسة قبل أن يتعلموا مدى سوء هذه العادة؟ هل يدخنون أكثر نسبيًّا لأن من الأرجح أنهم يعملون بوظائف لا مجال فيها لمزيد من الترقي مما يجعلهم في حال من الاكتئاب، والنيكوتين كما هو معروف مركب يؤدي إلى التنبيه والاسترخاء، فهو بالضبط نوع العقار ذي الحدين الذي يتلهف عليه المصابون بالاكتئاب؟ أو أن إدمانهم للسجائر هو الذي يحفزهم في البداية على ترك الدراسة — للحصول على عمل يمول هذه العادة التي تتزايد أبدًا في تكلفتها الغالية، أو للهرب من الرقابة المزمنة لمدرسيهم؟ أو أن عدم إتمام الدراسة الثانوية وتدخين السجائر كلاهما يفيد كعلامة على التمرد، أو أن يعلن المرء عداءه تجاه المجتمع؟ أو هل يكون ترك الدراسة الثانوية والتدخين علامة للخضوع، وللإعلان عن ولاء المرء لعصابة؟

ورسم أسهم سببية من سلوك إلى آخر أو نتيجة إلى أخرى أمر كثيرًا ما يكون محفوفًا بالخطر، ولكن هذا لا يمنع الناس من المحاولة. يستشهد

داريل هوف في كتابه «كيف تكذب بالإحصائيات» بمثل من أحد الملاحق ليوم الأحد اسمه «هذا الأسبوع» وفيه يجيب أحد المحررين عن سؤال لقارئ يدور حول تأثير الذهاب إلى الكلية في احتمالات أن يظل المرء أعزب. يجيب المحرر: «إذا كنت امرأة فإن الاحتمالات ترتفع كالصاروخ في أن تصبحي عانسًا عجوزًا. أما إذا كنت رجلًا، فيكون التأثير عكسيًّا — ستقل احتمالات أن تبقى أعزب» ثم استشهد المحرر بدراسة أُجريت بجامعة كورنيل على ١٥٠٠ فرد من «النوع النمطي لخريجي الكليات وهم في منتصف العمر»، حيث تبين الدراسة أن ٩٣ في المائة من الرجال كانوا متزوجين، بالمقارنة ب ٨٣ في المائة من السكان عامة، في حين أن ٦٥ في المائة فقط من النساء كن متزوجات. ويستنتج المحرر في تشاؤم أن: «عدد العانسات يزيد نسبيًّا بين خريجات الكليات إلى ثلاثة أمثال العدد بين السكان عامة». الدرس واضح بالنسبة لبنات الخمسينيات من القرن العشرين: الذهاب إلى الكلية هو مثل الازدياد في السمنة أو الإصابة بحالة شلل أطفال خفيفة، يمكن أن يقلل إلى درجة خطيرة من الفرص الرومانسية للبنات. الصبيان لا يتزوجون من زميلات الدراسة المحبات للكتب.

ينتهي داريل صاحب النزعة التقدمية إلى أن ينفخ ساخطًا، هيا تمسكوا بالآنسات «هافيشام».[١٧] قبل أن نحوّل مبتهجين علاقة ارتباط إلى حالة سهلة واضحة من سبب ونتيجة، هيا نسأل: من هذا الذي يقول إن كل أولئك «العوانس العجائز» في مسح كورنيل كن في البداية في توق شديد للزواج؟ من الممكن تمامًا أنهن رأين في الكلية طريقة للفرار من الزوجية واكتساب الاستقلال الاقتصادي. وبداية، فإنه في هذا الشأن نجد أن النساء اللاتي يتجهن إلى الكليات يكون لهن نسبيًّا تفكير فردي النزعة أكثر من غيرهن من النساء. ثم من الذي يعرف التأثير الذي تركته عليهن خبرتهن الجامعية؛ بل ربما نجد أن عددًا أقل من بين زمرة نساء كورنيل هن اللاتي كن سيتزوجن

---

[١٧] الآنسة هافيشام شخصية لعانس عجوز في رواية «توقعات عظيمة» لتشارلز ديكنز، وقد خانها حبيبها في شبابها فاعتزلت العالم حتى ماتت. (المترجم)

لو لم يذهبن إلى الكلية. كل هذه الإمكانات تعد استنتاجات تتساوى في صدقها، كما يقول هوف: «ذلك أنها مجرد تخمينات».

يستطيع أصحاب النزعة الإحصائية الشديدة التعقد أن يعتصروا إذا شاءوا أي مجموعة من الأرقام حتى تصرخ بأغاني ألبوم «ستة وتسعين دمعة». سير ريتشارد بيتو عالم وبائيات في جامعة أوكسفورد، جعل هذه النقطة واضحة إلى حد السخف، وذلك عندما طلب منه محررو مجلة «لانست»[18] أن يجري تحليلًا إحصائيًّا إضافيًّا على تقرير يعد علامة طريق كان هو وزملاؤه قد قدموه في التو إلى هذه المجلة الطبية البريطانية. بيّن الباحثون في دراستهم أن ضحايا نوبات القلب لديهم فرصة أفضل نسبيًّا للبقاء أحياء إذا كانوا قد تعاطوا الأسبرين خلال ساعات قليلة من النوبة. أراد محررو «اللانست» أن يفكك علماء الوبائيات البيانات إلى مجموعات فرعية، ليروا إن كانت فئات المرضى المختلفة قد تستفيد بشكل أو بآخر من الأسبرين حسب عمرهم، أو حالتهم الصحية السابقة، أو غير ذلك من الخصائص. رفض سير ريتشارد، فهو يعرف أنك إذا عبثت بأرقامك وأخذت تشذب فيها لزمن طويل، فإن من المحتمل أن تظهر كل أنواع الصلات الزائفة نتيجة للصدفة وحدها. وأصر المحررون على رأيهم. أذعن بيتو في النهاية، وناولهم الحسابات الإضافية التي أرادوها — إلا أن ذلك كان بشرط أن يضمنوا في البحث المنشور إحدى «الروابط» أو العلاقات الإحصائية التي كشف عنها وسوف تقنع القارئ بالحاجة إلى النظر بتشكك إلى كل تمارين التدليك الفرعية. مرحبًا بالعودة إلى خريطة أبراج التنجيم. الأسبرين قد يكون فيه إنقاذ لحياة ضحايا النوبات القلبية الذين ولدوا تحت عشر أو إحدى عشرة علامة تنجيمية، كما كتب بيتو، أما بالنسبة لمن يتفق أنهم ولدوا تحت برج الجوزاء أو الميزان فنحن آسفون جدًّا، يبدو أن الدواء هنا لا قيمة له. (ملحوظة لمواليد الجوزاء والميزان، الذين لديهم حاليًّا نشاط لمرض قلب أو يشك في وجوده: عليكم أن تستشيروا طبيبكم، أو منجمكم، أو

[18] لانست (المشرط) مجلة علمية طبية بريطانية من أقدم وأشهر المجلات الطبية. (المترجم)

شركة البرقيات المحلية، عما إذا كان «حمض الساليسليك» أو الأسبرين هو أفضل خيار لكم؛ ولكن عليكم ألا تتصلوا بأي حال بالدكتور بيتو المولود في برج الثور).

شيرمان سيلبر جراح أمراض تناسلية وعقم في سانت لويس، وله عرض مماثل لإثبات مخاطر الروابط المتبادلة الغريبة، فقد نشر هو وزملاؤه نتائج بحث فيها نزواتها المقصودة وكأنها رحلة لصيد السمك، ويدور البحث خلال قاعدة بيانات لثمان وعشرين مريضة عقيمة. استخدم الباحثون برنامج كمبيوتر لتعيين أي صفات قد تربط هؤلاء السيدات اللاتي نجحن بعد عقمهن في أن يصرن حاملات. فليبارك الله في منظاري لفحص مهبل النساء، ماذا لدينا هنا: المريضات اللاتي تبدأ ألقابهن بحروف (ج)، أو (ي)، أو (ن)، كن الأكثر احتمالًا، بما له معنى إحصائي، لأن ينتهي بهن الأمر بحمل طفل، احتمال أكثر مما عند أترابهن ممن لديهن ألقاب أقل تبشيرًا. بعد أن يقر دكتور سيلبر بوجود قدر معين من إرضاء الذات في هذا التزامن بالصدفة، فإنه يحذر بعدها من أن وجود علاقات ارتباط كثيرة «لها معناها إحصائيًّا» في الأدبيات العلمية والطبية قد يكون فيه خداع بنفس الدرجة تمامًا مثل التلاعب بلفظ تخصصه Gynecology (طبيب أمراض نساء) لينطق GYN-ecology (إيكولوجيا النساء)، إلا أنه لسوء الحظ لا يوجد إلا القليل مما «يثير السخرية بوضوح» هكذا، ومن ثم يسهل تعريته.

من الصعب على الطبيب أو الباحث الذي يعمل يوميًا بانتظام أن يدرك كل علاقة ارتباط خادعة قد تطلع قافزة من الأرشيف PubMed أي الأرشيف الإلكتروني للدوريات الطبية، لا أحد منا يستطيع أن يفلت من خدعة عارضة. وكما أنه يمكن أن يكون هناك إغراء كبير لك بأن تدافع عن نفسك مقدمًا بأن تلعن كل الإحصائيات بلا تمييز، إلا أن عالِم الإحصاء العظيم فردريك موستلر لديه رأي في ذلك إذ يقول: «من السهل الكذب بالإحصائيات، ولكن من الأسهل أن تكذب بدونها.» ومع ذلك هناك بعض خطوات تستطيع أن تلجأ إليها كي «ترد بصفاقة على الإحصائيات»، على حد قول هوف. من بين الأمور المهمة التي يوصي بها الكثير من العلماء أن

نسأل سؤالًا بسيطًا، هل الرقم، أو النتيجة، أو علاقة الارتباط تبدو معقولة، بمعنى هل تتفق مع ما تعرفه من الواقع الموضوعي؟ يقول جيمس ل. ميلز رئيس قسم وبائيات الأطفال في المعهد القومي لصحة الطفل والنمو البشري: «يجب أن تنظر في أمر مدى معقولية النتائج بيولوجيًّا. الكثير من النتائج التي لا تصمد أمام امتحان الزمن هي بدايةً ليس لها أي معنى في الحقيقة.»

كتبت ذات مرة تحقيقًا عن اكتشاف مذهل في عالم علم الرئيسيات: يوجد في عالم الشمبانزي تجمع اجتماعي نمطي لأفراد الشمبانزي، حيث يعيش العديد من الذكور البالغين مع العديد من الإناث البالغات، ويحدث جماع جنوني تعددي بمقياس ما كان يحدث بين أصحاب العلاقات الجنسية المتعددة في مانهاتن العتيقة أعضاء النادي الجنسي المسمى «بمعتكف أفلاطون»، وبدا في هذا المجتمع من الشمبانزي أن الذكور المقيمين فيه كثيرًا ما كانوا يضيعون وقتهم من وجهة النظر الداروينية. أجل، هم يعاشرون الإناث المقيمات المرة بعد الأخرى، ولكن تحاليل دنا بدا أنها تدل على أنه على الرغم من كل جهود الذكور، إلا أن نصف الأفراد الوليدة من الشمبانزي في مجموعة معينة يكون آباؤهم أفرادًا من غير المقيمين في المجموعة من فحول الشمبانزي. كيف أمكن أن يحدث ذلك؟ أدى هذا الاكتشاف إلى إزعاج مجتمع باحثي الشمبانزي شديد الترابط والمنافسة أيضًا. ظل هناك علماء استمروا يكرسون أنفسهم مشدوهين لدراسة القردة العليا عبر عقود من سني البحث الميداني ابتداء من جين جودال ثم من جاءوا بعدها وظلوا وهم لا يرون واقعيًّا أي دليل على وجود قوات خارجية لغزاة يتواثبون مرحًا، أو أي دليل على أن الإناث تتسلل للاتصال بذكور من غير المقيمين في المجموعة.

الإجابة المختصرة عن سؤال «كيف أمكن أن يحدث ذلك؟» هي «تبًّا». وكما قرر فريق آخر من الباحثين بعد ذلك بسنة، فإن هذه النتيجة التي تتحدى المعقول بيولوجيًّا ثبت في النهاية أنها خطأ، نتاج مؤسف لعينات وراثية أخذت بأوضاع أقل من أن تكون الوضع الأمثل وهجنت بمقارنات إحصائية مضللة لدنا الشمبانزي. عند إعادة تحليل بصمات دنا توصل

علماء الرئيسيات إلى أدلة جزيئية تتفق مع الدراسات الميدانية، وتبين أن ذكور الشمبانزي المقيمين هم الآباء الحقيقيون لكل نسل له شعر غزير يجرؤ على التواثب مرحًا فيما بينهم.

مرة أخرى تثبت جدارة الحقيقة العلمية الثابتة: عندما تواجهنا نتيجة مذهلة، فلنبق على ذرة مختزنة من الشك حتى تتحقق النتيجة على نحو مستقل، ويفضل أن يكون ذلك على يد باحث منافس قديم كان يأمل أن يفعل أي شيء غير ذلك.

هناك أسئلة أخرى نسألها لأي إحصاء، من بينها: من الذي اكتشفك؟ هل كان ذلك على يد مجموعة تهتم بالأمر لها من هذه النتيجة فائدة اقتصادية، أو عاطفية، أو سياسية؟ الشركات الدوائية لها حوافز كثيرة لترويج ما يسمى بالعلاج بالإحلال الهرموني لشفاء أي حالة تنال منك وتضعفك، وحدث لعدة سنوات في تسعينيات القرن العشرين أن تم إقناع أعداد هائلة من النساء بفوائد أدوية مثل «البريمارين» في الحفاظ على سلامة قلوبهن، واستقامة عمودهن الفقري، ومرونة أنسجة الكولاجين عندهن، وكلها فوائد يفوق وزنها أيًّا من المخاطر الإضافية الصغيرة للإصابة بسرطان الثدي مما قد يأتي به هذا العلاج الهرموني. إلا أن هيئة محلفين غير منحازة إلى حد معقول، وهي هيئة «التمهيد لصحة المرأة»، بحثت مدى جدارة هذا العلاج الهرموني على نطاق واسع يشمل الأمة، ووجدت أن المخاطر تقلل كثيرًا من حجم الفوائد وتقزمها، وأن الفوائد في الحقيقة تكاد تكون صغيرة بما يُهمَل. لسوء الحظ لا تخضع معظم الأدوية لفحص دقيق كهذا ممول فيدراليًّا. تتكفل الشركات الدوائية بنفقات معظم تجاربها عن الأمان والكفاءة، ثم، أجل، هناك أمثلة كثيرة من الاشتراك في الخداع أو الإهمال طفت على السطح بمرور السنين: وهكذا أُهملت التحذيرات من دواء «فيوكس» القاتل للألم، وأهملت الأدلة على أن بعض الأدوية المضادة للاكتئاب قد تزيد من احتمال خطر الانتحار بين المراهقين المكبوتين. ومع ذلك فإن أفضل ما نراهن عليه هو أن نسأل من أين أتى هذا الإحصاء، وهل تحققت صحته على يد مصدر غير منحاز.

كما ذكرنا فيما سبق، ينبغي لك أيضًا أن تسعى لوضع الإحصاء في سياق وأن تضع الحقائق الأساسية في المقدمة. إذا سمعت أن معدل وقوع السرطان في الأطفال زاد بنسبة ٥٠ في المائة في المدة من السنة الماضية حتى السنة الحالية، فلتلق بنظرة على الأرقام في السنوات الخمس السابقة. سرطانات الأطفال دائمًا مدمرة، ولكننا ما زلنا نجد في امتنان أنه حتى أكثر الأنواع شيوعًا من هذه الفئة الخبيثة، مثل اللوكيميا[١٩] أو ورم الأرومة العصبية،[٢٠] لا تزال كلها نادرة تمامًا. مع ندرة هذه الأمراض، قد يؤدي وجود حالات قليلة إضافية إلى فارق هائل في المعدلات. انظر كيف تتراوح أرقام الحالات عبر الزمن. إذا كان هناك ارتفاع في معدل وقوع الحالات عبر عقد من السنين، في شكل خط بطيء ولكنه مطرد، عندها يكون التقرير الذي يحذر من هذا الاتجاه تقريرًا يستحق الانتباه. أما عند وجود خط متعرج غريب، فسيكون سوء الحظ العشوائي هو التفسير المرجح لذلك بمثل ما يرجح أي تفسير آخر لسنة سيئة.

تذكر قبل كل شيء أن الأرقام ليست شيئًا غامضًا، أو معصومًا من الخطأ، أو نقية القلب دائمًا. يقول كثير من الناس إنهم يكرهون أن يعاملوا «كمجرد إحصاء آخر». حسن، الإحصاء لا يكون أبدًا «مجرد» إحصاء. إنه نتاج العقل البشري، نداء من جكم بشري، تخيل بشري، انحياز بشري، ضعف بشري. عندما نتعلم التفكير بالتحليل الكمي، يساعدنا ذلك في التغلب على الميل إلى تقبل الكم دون اعتراض أو تعديل. دخلت شابة قريبة لي امتحان «سات» SAT للقدرات الدراسية ونالت ١٣٠٠ درجة من ١٦٠٠. من الواضح أن عائلتي كانت تعرفها لسنوات، ولكننا لدينا الآن دليل رقمي يمكننا على أساسه أن نضع الشابة في المكان المناسب لها في إطار العائلة: فهي ذكية إلى حد بعيد، ولكنها ليست متقدة الذكاء. بعد ذلك بشهور قليلة دخلت قريبتي امتحان «سات» مرة ثانية دون مساعدة من مدرس أو من

---

[١٩] اللوكيميا سرطان خلايا الدم البيضاء. (المترجم)

[٢٠] ورم الأرومة العصبية: ورم خبيث من خلايا عصبية أولية وأكثر ما يظهر بين الأطفال، حيث يبدأ ظهوره في الغدة الكظرية أو الجهاز العصبي السمبثاوي. (المترجم)

مقرر دراسي لستانلي كابلان،[٢١] ونالت ١٤١٠ درجة. عجبًا! إنها ليست فقط ذكية إلى حد بعيد، إنها ذكية إلى أقصى حد.

قد يكون اختبار سات «للقدرات الدراسية» اختراعًا بشريًّا بالكامل، ألفته مجموعة صغيرة من الحكماء المسنين لاختبار حشد لا يحصى من الشباب، ولكننا عاملناه وكأنه يقدم حقيقة كونية. وعندما قدم لنا نسختين اثنتين مختلفتين من هذه الحقيقة، فعلنا ما تفعله كل عائلة محبة، ووصفنا الرقم الأول بأنه كاذب.

[٢١] مقررات ستانلي كابلان: برامج دراسية على اسم منشئها، للمساعدة في الدراسة، والتدريب المهني والإعداد للامتحانات وغير ذلك من الخدمات التعليمية. (المترجم)

الفصل الثالث

المعايرة

اللعب بالمقاييس

من بين الخطايا السبع المميتة، خطيئة الكبر، الخطيئة التي ربما لها أكبر قائمة لعلاجها بمضادات السموم المختلفة. ترى هل يحتاج الأمر إلى حقن سريع في الوريد لمحلول التواضع؟ هيا تسلق أي سلسلة جبال تختارها تطل على مشهد طبيعي، وحدق في مشهد الأرض التي تمتد شاسعة في طيات كأنها مصنوعة من كشمير، تلك الثنايا المتكررة التي ترتفع وتنخفض في سكون عند الأفق البعيد دون حتى أن تتنازل وتنظر إليك بازدراء. أو حاول أن تتطلع إلى قبة السماء في ليل الصحراء وقد وُشيت بالنجوم، وانظر كيف أنه مع ما يبدو عليه مشهدها وقد احتشدت بالنجوم من فوقك وأنت تنظر لها بعينك المجردة مشدوهًا، فإنك لا ترى إلا ما يقرب من ٢٥٠٠ نجم من بين ٣٠٠ بليون من النجوم في مجرتنا درب التبانة — وربما يكون هناك في الكون ١٠٠ بليون مجرة أخرى مرصعة بالنجوم، أبعد من أن تراها دون عون من التليسكوبات. زيارة المقابر تؤدي أيضًا إلى تأثير مماثل: لا ليس المقصود مقبرة من مقابر أفنية الكنائس التي تثير المشاعر، كتلك التي تندس بجوار كاتدرائية مثل كاتدرائية جيمس رينويك الابن،[1] حيث شواهد القبور قليلة مصنوعة من

[1] المقصود كاتدرائية سانت باتريك بنيويورك في منطقة مانهاتن الغنية، وقد صممها المهندس جيمس رينويك الابن. (المترجم)

الأردواز وعتيقة سليمة؛ وإنما المقصود مقبرة مثل مجمع مدافن مونتفيور لليهود في حي كوينز، حيث دفنت جدتي واثنان من إخوتها، وربما أيضًا عدد من ١٥٠٠٠٠ من الأفراد الآخرين الذين توفوا ودفنوا حديثًا فيها، مقبرة تمتد لمئات عديدة من الآكرات[٢] تمامًا بجانب الطريق السريع للونج أيلاند.

على أن هناك أدوية كثيرة لتقوية سمة التواضع حدث أني تعرضت لها عن عمد أو عن غير عمد، لعل أكثرها فاعلية هو أيضًا أكثرها تواضعًا. منذ زمن ليس ببعيد عدت لزيارة جيرتي في برونكس الحي العتيق حيث قضيت طفولتي، وغمرتني حالة مربكة من قلق وجودي. لم يكن الأمر أن الجيرة قد تغيرت تغيرًا كثيرًا رهيبًا. هُدم حقًّا مبنى الشقق الذي كنا نعيش فيه هدمًا كاملًا وحل مكانة ساحة انتظار، ولكن الكثير من المباني المحيطة به التي تنتمي إلى زمن ما قبل الحرب كانت لا تزال قائمة بتجهمها الدائم المتعمد. بدلًا من ذلك كان ما أحزنني هو كيف أن كل شيء بدا لي قليل الحجم ومضغوطًا، وكيف بدت المسافات بين المعالم التي أثرت في سنوات تكويني أقصر كثيرًا في الواقع عمَّا في ذاكرتي. جغرافيًّا سنوات طفولتي كانت غاية في التضخم والأهمية، كل مجموعة مبان هي قارة، كل رحلة عادية هي رحلتي الأوديسية[٣] الخاصة. الحج الأسبوعي إلى «مخبز الحديقة» للحصول على رغيف السبت[٤] أو الجاودار الخالي من البذر، أو ربما فطيرة بيضاء — سوداء من الفانيليا والشيكولاتة إذا كانت «إلَهة الحظ» قد زارت والدتي قبلها لتمنحها بعض هباتها؟ لا ريب أني أتحدث عن أشياء بعيدة بنصف الميل أو أكثر! لا! ها قد راح المخبز، إلا أن الناصية باقية، تبعد عن بيتي بمجرد مجموعتين من المباني. الرحلة اليومية إلى المدرسة العامة رقم ٢٨، إلى مدرستي الابتدائية، عبر طرق تلتوي مرتفعة ومنحدرة كممرات

[٢] الآكر: وحدة مساحة تقرب من الفدان المصري أو حوالى ٤٠٠٠ متر مربع. (المترجم)

[٣] الأوديسة: رحلة شهيرة في الأساطير الإغريقية وصفها هوميروس في إحدى ملحمتيه المشهورتين الإلياذة والأوديسة. والرحلة على اسم أو ديسيوس ملك الإغريق في حرب طروادة الذي عاد إلى وطنه بعد عشر سنوات من الترحال والتجوال. (المترجم)

[٤] رغيف السبت: خبز يأكله اليهود في أحد طقوس يوم السبت ليذكرهم بأنهم وهم في فترة التيه أيام موسى أنعم الرب عليهم بالطعام في الصحراء. (المترجم)

التزلج على الثلج، وتعرجات بانحدار حاد وتقاطعات تنذر بالشر، وذلك الامتداد الطويل المروع الذي هاجمتني عند نهايته عصابة من البنات سرقن كيس نقودي الجديد؟ على بعد أربع بنايات.

من الواضح أن حسي بأبعاد المسافات أصبح غير متوازن، بل لا وجود له، نسخة صبيانية من رؤية أهل مانهاتن للعالم بأسلوب سول ستينبرج[٥] التي كثيرًا ما تقلد. كنت أحس في طفولتي بأني مغمورة تمامًا في كل تفصيل من موطني البيئي المصغر، وهكذا تضخمت الأبعاد الفيزيقية للبيئة المحيطة بي لتتوافق مع جبروتها العاطفي. أما الآن وأنا أستطيع تقدير حجم الجيرة من خلال العدسة المصقولة غير الرحيمة لسن البالغين، فقد أدركت مدى ضآلة كل كياني وبيئتي، وكيف أسأت تقدير المسافة بين أي نقطتين. لم يكن هذا خطأ مني. كنت طفلة، والأطفال بطبيعتهم يتنبهون تنبهًا خارقًا لتفاصيل الموقع البيئي الذين أقحموا فيه. على أن ممارسة هذه الزيارة قدمت لي مثلًا نابضًا بالحياة عن كيف أننا نحن البشر كثيرًا ما نتعثر في قياس الأبعاد. الناس خلال تاريخنا كله يسيئون إساءة جامحة مفرطة في تقدير المسافات، والنسب، والمقارنات، وكلها أشياء تشكل واسطة عقد الوجود. نحن — الأمريكيين — من جذور غير أمريكية ندين بوجودنا وامتلاكنا للعالم الجديد لذلك التخبط الملاحي والخطأ الفادح الهائل المسمى «المشروع الهندي»، حيث حاول كريستوفر كولومبوس الوصول إلى الشرق الأقصى بالإبحار غربًا. تتركز الخرائط تقليديًّا على الأرض التي يعشقها أكبر العشق صانع الخرائط — كأورشليم بالنسبة لمثقفي العصور الوسطى، أو موطن الميلاد أو الوظيفة الحالية لصناع الخرائط في زمننا الحالي. تدل كل المظاهر على أننا قد تطورنا بحيث ننظر إلى الحياة بمقياس أبعاد بشري، وبحيث نشغل أنفسنا بما يكاد يكون انشغالًا حصريًّا بإيقاع الساعات، والأيام، والفصول، والسنوات، وبالأشياء التي نستطيع بسهولة أن نراها،

[٥] سول ستينبرج رسام كاركاتير أمريكي معروف، عاش في نيويورك، وله كتاب مصور مشهور عن رؤية أهل مانهاتن لسائر العالم. (المترجم)

ونلمسها ونحصيها، تلك الأشياء التي يكون علينا العمل بها، الأشياء التي تشكل الأدوات المحيطة بنا التي يجب أن نبني بها حياتنا.

ومع ذلك، فإن الضوابط الحيوية للإيقاع والنسب في حياتنا اليومية هي بالكامل شأن عارض. كمثال لذلك دعنا ننظر أمر تلك الكمية التي تنال رضانا، الحفنة أو قبضة اليد. يمكننا نحن البشر أن نلقي نظرة عاجلة على تجمعات تصل إلى خمسة أشياء موجودة معًا، ونعرف كميتها في التو بدون عدّها، وهذه مهارة تعتبر تراثًا لأصابعنا الخمسة التي ظللنا دائمًا نقبض بها على كنوزنا مثل ثمار التوت الناضجة (أو لعل الأفضل الآن أن نقول ثمار التوت المغطاة بالشوكولاتة)، تلك الأصابع التي نستطيع بوضع الأشياء إزاءها أن نقيم حجم الحصاد الذي اقتلعناه. نعم، نحن لدينا عشرة أصابع، ولكننا نوع له نزعة قوية لإحدى اليدين، ويستخدم ٩٠ في المائة منا اليد اليمنى، ونؤدي معظم فعل القبض باليد بهذه اليد اليمنى الأثيرة بأصابعها الخمس. من الملاحظ مدى صعوبة أن نرى مجموعة تتكون مثلًا من سبعة أو ثمانية أشياء وندرك عددها دون أن نمر بعملية العد المملة — إلا إذا كانت هذه الأشياء منتظمة في مجموعات فرعية مرتبة في أعداد من خمسة أو أقل. نجد أيضًا أن حسّنا بالزمن يعكس خبرات حياتنا اليومية. الوحدة الأساسية للزمن المعتاد هي الثانية، وهي تطابق في قرب ملحوظ الإيقاعين الأكثر تأسيسًا في الحياة: الوقت الذي تستغرقه رئتنا لتمتلئ بالهواء والوقت الذي تستغرقه نبضة قلب سليم واحدة.

تشكلت منظوماتنا الشمسية عندما أخذت كتلة هائلة من الغاز والغبار والصخور تتقلص للداخل على نفسها (وهذا موضوع سنتناوله فيما بعد بشيء من التفصيل)، وكنتيجة لذلك ونتيجة لأن التكاثف الجذبوي يجعل الأجسام تأخذ في اللف حول نفسها مثلما يفعل اللاعبون المذهلون في استعراض التزلج على الجليد وهم محصنون من الدوار، يؤدي هذا كله إلى أن تدور الكواكب كلها حول محورها بسرعات مختلفة تقل أو تزيد. يتفق أن كوكب الأرض يلف بسرعة دوران تستغرق ما يقرب من ٢٤ ساعة حتى تكتمل الدورة (أو هي بالضبط ٢٣,٩٣٤ من الساعات). وكما تقول آني

ديلارد: «الطريقة التي نقضي بها أيامنا هي بالطبع الطريقة التي نقضي بها حياتنا»، وحدود هذه الأيام هي هبة عارضة، نتاج للجاذبية بالمعنى الحرفي للكلمة. والحقيقة أن حركة الأرض الدائرية ظلت تبطئ تدريجيًّا وينتج ذلك إلى حد بعيد عن الشد المدّي لقمرنا الملازم لنا. كانت الأرض في زمن أسبق تكمل الدورة الواحدة في عشر ساعات لا غير، بل حتى إلى زمن حديث منذ ٦٢٠ مليون سنة كان اليوم ينتهي في ٢١,٩ ساعة، وهذه أفكار تثير الكوابيس لمن يكون لديهم من قبل نزعة للأنين بالشكوى من تحديد المواعيد لإنجاز المهام وللشكوى من الحرمان من النوم.

تحديد الموقع هو أهم شيء، وموقعنا أثناء ميلاد منظوماتنا الشمسية هو الذي كفل لنا توقيت السنة. تنطلق الأرض في مدارها الذي يصل مداه إلى نصف بليون ميل تقطعها الأرض بمعدل ٦٦٦٠٠ من الأميال لكل ساعة وذلك بسبب بعدها بالنسبة للنجم الذي نتبعه بسبب جاذبيته: الشمس. في تباين مع ذلك نجد أن الزهرة أقرب للشمس منا بمسافة من ٢٦ مليون ميل، وهذا يعني أن: (أ) مدار الزهرة أقصر من مدارنا؛ و(ب) بالمقارنة هناك شد نتيجة لقوى الجاذبية أقوى للشمس بما يدفع الزهرة إلى أن تنطلق عند كل دورة بسرعة عالية (٧٨٤٠٠ من الأميال لكل ساعة)؛ و(ج) سنة الزهرة تتواصل لمدة تبلغ فقط ٢٢٦ يومًا من أيام الأرض، وهذه فكرة كريهة أخرى لمؤلفي الكتب الذين عليهم الوفاء بعقودهم. ولا داعي لأن نسهب في الحديث عن ذلك الكوكب الشمسي المتزلف المسمى على اسم الإله الروماني صاحب الحذاء ذي الريش، حيث تستمر السنة لأقل من ثلاثة شهور.

ما لدينا من حس باطني قليل بالتاريخ ينحو إلى أن يتأسس على متوسط مدى حياة الإنسان الذي يتراوح بين ثلاثة إلى عشرة عقود. أي فترة زمنية تزيد عن القرن في أي من الاتجاهين، تؤدي إلى أن يغدو التقويم الزمني العقلي عندنا مضببًا بلا وضوح، في شكل تجريدي غير منتظم كالأميبا. عرفت لمعظم حياتي أن «سيلاس أنجير» أحد أسلافي قد قاتل في حرب الثورة، ولكني حتى وقت قريب لم يكن لدي أي فكرة عن عدد

الأجيال التي بينه وبيني. عندما يسألني الناس، بسبب لقبي، عما إذا كنت فرنسية، أرد عليهم بأني لست فرنسية منذ عهد قريب، وأشرح لهم أن أسرة أنجير أتت من إنجلترا إلى أمريكا في القرن السابع عشر؛ وأثناء حديثي عن ذلك ألقي بإشارة إلى صلة نسبي المهمة بأحد مؤسسي أمتنا. «الحقيقة أن جد جد جد جد جد — وألوح بيدي سريعًا إلى الوراء عبر الهواء وعبر المكان — الزمان — جد-جد، وهكذا وصولًا إلى الجد الأكبر سيلاس أنجير الذي قاتل في حرب الثورة. ويقولون عجبًا، أهناك خطأ ما في يدك؟

على أنني في سياق كتابة مقال عن «فيتزويليام» في نيوهامبشير، البلدة التي دفن فيها سيلاس وكثيرون غيره من آل أنجير، انتابتني لحظة أخرى مثل لحظات عودتي إلى برونكس، إدراك مربك لتشوه إحساسي لقياس الأبعاد. بالبحث خلال سجلات البلدة، توصلت إلى أن جدود الأجداد بيني وبين سيلاس ليسوا في نهاية الأمر بهذه الكثرة مطلقًا، إذ يمكن إحصاؤهم بسهولة بأصابع اليد. ذلك الرجل ببندقيته العتيقة، وبنطلونه المنتفخ، وقبعته المثلثة الزوايا، زميل توماس جيفرسون الذي ولد قبله بست سنوات، هو فحسب الجد الأكبر لجد جد جد جدي. على عكس الأسطورة، الزمن لا يطير سريعًا بوجه خاص عندما يكون الشخص ميتًا.

كثيرًا ما كان الملوك وغيرهم من أصحاب المراتب السامية يعتقدون أن أعضاءهم الخاصة لها نسب مقدسة بما يجعلها جديرة باتخاذها كوحدات عيارية للقياس. أعلن الإمبراطور الروماني شارلمان في القرن التاسع أن طول قدمه «هو» سيكون من وقتها فصاعدًا القياس المسمى «القدم»؛ وبهذا المقياس يستطيع الإمبراطور أن يباهي بأن طوله سبعة أقدام، وكان يقال إن هذا الإمبراطور له بنية جسدية جيدة وإن لم تكن شاهقة. بعد ذلك بثلاثة قرون أصدر الملك الإنجليزي هنري الأول مرسومًا بأن الياردة تساوي المسافة من أنفه حتى طرف الإصبع الأوسط من ذراعه الممتد. ابتكر الرومان الذين يجوبون الآفاق دائمًا مفهوم الميل على أنه المسافة التي يستطيع الرجل أن يغطيها في ألف خطوة رجولية باتساع الخطوة الكامل؛ وكلمة ميل مأخوذة عن المصطلح اللاتيني milia passuum، أو ألف خطوة.

عويرت تدريجيًّا كل هذه المقاييس ابتداء من عصر النهضة واستمرارًا حتى القرن العشرين. وفي حين أنّي نصيرة متحمسة للنظام المتري الذي يعتنقه كل العلماء وتتبعه واقعيًّا كل الدول فيما عدانا، إلا أني أقر بأنه لا يوجد بوجه خاص أي شيء أساسي فيما يتعلق بمعظم الوحدات المترية. فهي ليست مؤسسة على خصائص جوهرية للذرات، أو الضوء، أو الجاذبية. (وذلك فيما عدا استثناء واحدًا مهمًّا هو «النظام المتري للحرارة»، درجات سلسيوس المئوية، التي استقيت من أطوار حاسمة لجزيء وافر كونيًّا لا يمكننا أن نوجد من غيره — جزيء الماء. درجة الحرارة التي يتجمد عندها الماء أُعطيت اللقب درجة الصفر بمقياس سلسيوس، في حين خصص لنقطة غليان الماء درجة ١٠٠ بمقياس سلسيوس). بصرف النظر عن أصل النظام المتري، فإنه يمكن الدفاع عنه بجمال قاعدته العشرية، وسهولة عزف نغماته صعودًا وهبوطًا على لوحة المفاتيح. ما هو عدد الملليمترات في السنتيمتر، وعدد السنتيمترات في المتر، وعدد الأمتار في الكيلومتر؟ إنها حسب الترتيب ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠. ما هو عدد البوصات في القدم وفي الياردة، وعدد الياردات في الميل؟ إنها بالترتيب ١٢، ٣٦، ١٧٦٠ عجبًا. علينا أن نتخذ خيارًا صعبًا عن أي النظامين ينبغي أن ندرسه لأطفالنا. إذن، لماذا لا يزال على ابنتي أن تدرسهما معًا؟ متى نتوقف عن استخدام البوصات، ونتخلص من الأميال ونلقيها كلها في النار الأخيرة من نيران الفهرنهيت؟ يتسلل إلى الظن، وإن كان بلا أساس تمامًا، أن المحور الجوهري لنظام القياس الأمريكي هو ميدان كرة القدم الأمريكية، ومقدار خط العشر ياردات المقدس.[٦]

سواء استخدمنا النظام المتري أو غيره، فإن إحساسنا بالمقاييس إحساس يتمحور على الإنسان، يستطيع أن يعوق من فهمنا للكون، بل إنه يعوق في الحقيقة فهمنا واقعيًّا لأي علم منفصل عن سيكولوجية حسّنا المشوه للقياس. وهكذا فإن كل العلماء الذين أجريت لقاءات معهم أجمعوا على

[٦] باتباع هدى النظام التعليمي لأمتنا، سأستخدم بالتبادل في هذا الكتاب الوحدات المترية مع الوحدات البريطانية القديمة. (المؤلفة)

اقتناعهم بأن الناس سيستفيدون فائدة هائلة عندما يستوعبون استيعابًا أفضل الأبعاد الحقيقية للطبيعة: الطول والعرض، والزمن المثبت للكون المرئي، وخط زمن الحياة على الأرض، والاتساع المهيب الذي يستمر دومًا حتى عند حجم الذرة الذي لا يدرك بالحس. لنتحدث — كما يقولون — عن حجم الخلية، والمواطنين في داخلها، البروتينات والهرمونات، والجينات المضغوطة في لولب والمعزولة في النواة. ثم ماذا عن القراصنة التي تغزو الخلية: ما هو حجم «اليرسينيا»، تلك البكتريا الحاملة للطاعون، عند مقارنته بحجم كرة الدم البيضاء التي تتلهف إلى توجيه ضربة لهذه البكتريا تلقيها خارج مسرح الأحداث؟ ولا تنس الفيروسات. أين يكون وزن الإيبولا[٧] بينها؟ وما هو عدد من يستطيع منها أن يرقص فوق دبوس؟

بصراحة، لا أتخيل مهمة تسعدني أكثر من الحديث عن المقاييس، خاصة لأنني لن يكون علي أن أخطو فوق أي منها، ثم أدفعها هنا وهناك حتى أجد أفضل مكان لها. أحيانًا يكون أفضل جزء في فهمنا هو مجرد أن نعرف كيف نقارن بين الأشياء التي لا نستطيع رؤيتها وبين الأشياء التي لا يمكن أن تفوتنا. بالإضافة إلى أن ممارسة قياس الأبعاد لأشياء مهمة غير بشرية يمكن أن يؤدي إلى تأثير مفيد، هو إجبارك على أن تتساءل: ما هو الطبيعي وما هو الغريب عنا؟ يقول روبرت جيف من معهد «ممت»: «فكرة الزمان فكرة أساسية في مجال أبحاثي في فيزياء الجسيمات، ولكننا نتعامل فيها بأزمنة تختلف اختلافًا شاسعًا عن المفاهيم البشرية للحياة اليومية. نحن نتعامل بأمور مثل الوقت الذي يستغرقه الضوء حتى يجتاز أحد البروتونات، بأُس من ناقص عشرة للأربعة والعشرين ثانية ($١٠^{-٢٤}$)». أو بكلمات أخرى لزمن من جزء من تريليون من الثانية. ويضيف جيف: «يقول الناس إن هذا مضحك، كيف يمكنك التعامل مع هذه الأشياء السريعة الزوال. إلا أن إحساس الغربة الذي يجلبه الناس للموضوع هو نتيجة مفهوم للزمان يتمحور حول الإنسان، وهذا في الحقيقة هو الأمر الغريب الأطوار حقًّا.

---

[٧] الإيبولا مرض فيروسي في أفريقيا مصحوب بالحمى والنزف وبمعدل وفاة مرتفع جدًّا. (المترجم)

إدراكنا للزمان إدراك غير عادي بالمرة ويصعب وجوده في معظم الفيزياء الأخرى. من السهل أن تجد مقاييس زمنية قصيرة جدًّا، مثل ما نستخدمه للكثير من الجسيمات تحت الذرية، ومن السهل أن نجد مقاييس زمانية طويلة أقصى الطول مثل تلك التي تختص بالكون والجسيمات المستقرة جدًّا، ولكن من غير المعتاد بالمرة أن نجد مقاييس مثل الساعات، والأيام، والسنوات. مفهومنا البالغ الالتواء عن الزمان له علاقة بالميكانيكا السماوية لمنظوماتنا الشمسية، وبحقيقة أننا نتمركز بين مقياس طاقة الجاذبية من ناحية وعالم القوى النووية من الناحية الأخرى».

حتى نتعامل مع أي مقاييس تتجاوز مقاييسنا التقليدية، وحتى نتحدث عن توافق الإيقاعات السماوية أو الديناميكا الكمية، سنحتاج إلى التدوين برموز علمية أو الترميز العلمي، الذي يعرف أيضًا بأنه قوى أس العشرة. قوة هذا التدوين بالترميز قد انتشرت تقريبًا في الثقافة الشعبية وإن لم يكن انتشارها كاملًا، ويرجع الفضل في هذا إلى حد بعيد إلى كتاب «قوى أس العشرة» الذي ألفه فيليب وفيليس موريسون وهو من بين قائمة الكتب الأكثر مبيعًا. إلا أن الترميز العلمي يستحق قدرًا أكبر من الشهرة لأنه جميل ومفيد معًا، مثل مائدة قديمة لطيفة من خشب البلوط لها قدم بمخالب وأجنحة متحركة احتياطية تمد عندما تفد صحبة. وهي تسمى قوى أس العشرة، لأنك تسأل: كم مرة يكون عليّ أن أضرب رقمي في العدد عشرة لأصلَ إلى حيث تذهب؟ هل عشر مرات في رقم عشرة أم ١٠^٢ أي ١٠٠، أم ١٠^٣ أي ألف. أضف قوة عشرة أخرى إلى هذا الخيط، سيصير عندك ١٠^٤ أو عشرة آلاف. يتيح لك الترميز العلمي أن تكتب أرقامًا كبيرة في صيغة مضغوطة، وأن تتعامل معها بنوع من السهولة نادرًا ما تلقاه فيما يتجاوز خصوصية فرن الميكروويف الذي تمتلكه. مثال ذلك أننا نجد مؤخرًا حتى عام ٢٠٠١م أن الدين القومي للولايات المتحدة وصل إلى ٨,٥ تريليون دولار. نستطيع أن نكتب ذلك في صيغة طويلة على أنه ٨٥٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وتكاد تحس عندها أن هناك مدادًا أحمر يتدفق من أوردتك. أو أنك بدلًا من ذلك تستطيع ترجمة هذا المقدار بالترميز العلمي

بأن تضع علامة عشرية تكون مباشرة بعد أقصى رقم إلى اليسار، وتعد ما بعدها جهة اليمين لتجد ما تريده كقوة للعشرة أو كأس لها. عند كتابة رقم من $٨,٥ \times ١٠^{١٢}$ لن تشعر بانسحاق يكاد يكون كاملًا، وربما تأخذ في التفكير في هذه المقادير كشيء منطقي معقول، وعندها ستكون مؤهلًا لأن تدير «مكتب الإدارة والميزانية».

نكتسب استيعابًا سريعًا للأمور بواسطة الترميز العلمي، يفيدنا هذا في أن نحتفظ في ذاكرتنا بتلك النصوص الفائقة المكتوبة التي تقابل الأعداد التي نعرفها. الألف بأصفارها الثلاثة هي $١٠^{٣}$، والمائة ألف هي $١٠^{٥}$، والمليون $١٠^{٦}$، والبليون $١٠^{٩}$، والتريليون $١٠^{١٢}$، والجوجول $١٠^{١٠٠}$، والجوجول Google هو أداة بحث في الكمبيوتر وكذلك المصطلح الإنجليزي فعل متعد، وكذلك اسم جوجول الروائي الروسي في القرن التاسع عشر. يمكنك أن ترى إذن السبب في أن «التنامي الأسي» له كل قوة الدفع هذه. الأس البليوني قد يكون أكثر بثلاث مرات فقط من الأس المليوني، ولكن هذه الثلاثة الصغيرة الطريفة تعني أني قد رفعت قدرك أيها العزيز ألف مرة.

الترميز العلمي ينجح بالنسبة للسالب بمثل ما ينجح تمامًا مع ما يستطرد بالإيجاب، وإن كنت في حالة السالب تتحدث عن قوى كسر العُشر وليس قوى عدد العشرة. عُشر العشرة هو واحد من المائة ويكتب $١٠^{-٢}$، عشر الواحد من المائة هو واحد من الألف أو $١٠^{-٣}$. دعنا نواصل قضم الجانب الأيمن من الفطر السام في قصة أليس،[8] هيا ننحدر لما هو أصغر، ولتكن عائلة إيطالية من الكسور. أنت ملي — واحد من الألف، $١٠^{-٣}$؛ أو أنت ميكرو — واحد من المليون، $١٠^{-٦}$؛ أو نانو — واحد من البليون، $١٠^{-٩}$؛ أو بيكو — واحد من الترليون، $١٠^{-١٢}$؛ أو فيمتو — واحد من مليون البليون، $١٠^{-١٥}$.

نستطيع الآن أن نتفحص عالمًا يمتد بما يتجاوز مملكة القدرة العادية على العد. ماذا يحدث للبدايات، عند الأجزاء الفرعية من الثانية؟ عند العشر

[8] مغامرات أليس في بلد العجائب «روايه خيالية مشهورة للأطفال ألفها الإنجليزي لويس كارول ١٨٦٥م. (المترجم)

من الثانية نجد العبارة المستخدمة مثل «في طرفة عين»، فهذا هو الزمن الذي يستغرقه هذا الفعل. عند جزء من المائة من الثانية، يستطيع طائر الطنان أن يخفق جناحه مرة واحدة، وتستطيع طيور الطنان بفضل خفق أجنحتها البالغ السرعة أن تحوم مثل طائرات الهليوكوبتر وهي تشفط الهواء.

المللي ثانية، ١٠⁻³ ثانية، هو الزمن الذي تستغرقه ومضة مصباح الفلاش النمطي للكاميرا. خمسة أجزاء من الألف من الثانية هي أيضًا الوقت الذي يستغرقه السلمندر المكسيكي «بوليتو جلوسا ريوفيسكنس» (Bolitoglossa rufescens) الذي يشبه نصل العشب، والذي يمتلك أسرع لسان في الطبيعة، ويستغرق هذا الوقت في قذف هذا اللسان المقلاع البنفسجي لينتزع فريسته.

أما عند زمن من الميكرو ثانية، ١٠⁻٦ ثانية، فإن الأعصاب تستطيع أن ترسل رسالة إلى مخك عن ذلك الألم في عنقك. وعند المقياس الزمني نفسه، نستطيع أن نلقي الضوء على الفارق الشاسع بين سرعة الضوء وسرعة الصوت: يستطيع شعاع الضوء في ميكرو واحد من الثانية أن يقطع مسافة من ثلاثة من ملاعبنا لكرة القدم التي لا تزال تقاوم نظام القياس المتري، في حين أن موجة الصوت تستطيع بالكاد أن تمر في هذا الوقت عبر مسافة تساوى قطر شعرة بشرية.

نعم، الزمن يجري سريعًا، وبهذا علينا أن نحسب حساب كل ثانية، وكل جزء من الثانية، بما في ذلك النانو ثواني، أو الأجزاء من البليون من الثانية، أو ١٠⁻٩ من الثواني. من المؤكد أن ما عندنا من الكمبيوترات العادية يفعل ذلك. النانو ثانية، هي الوقت الذي نستغرقه لإكمال مائة جزء من المليون لطرفة العين، وهذه النانو ثانية هي الزمن الذي يمكن فيه لمعالج كمبيوتر قياسي من نوع الميكرو أن يؤدي عملية بسيطة: كأن يضيف رقمين معًا، أو أن يشير في إقرارك الضريبي بذلك الرقم المشكوك فيه كمبلغ للسفر ونفقاته.

أسرع أجهزة الكمبيوتر تؤدي علمياتها الحسابية في بيكو من الثواني، أو أجزاء من التريليون من الثانية، أي ١٠⁻١٢ من الثانية. إذا استطعت

ملاحظة سلوك جزيئات الماء في زجاجة مياهك الفاترة المعدنية سوف ترى أنه في كل ثلاثة من البيكو ثانية أو ما يقرب، ستتفكك الروابط الكيميائية الضعيفة التي تربط معًا جزيئات الماء المتجاورة ثم تتكون ثانية، وهذه لمحة خاطفة للطبيعة المؤقتة غير النهائية الموجودة حتى في أقصى ما يُعتنى به من منتجات التسويق.

على أن سرعة زوال الأشياء كلها أمور نسبية. تمكن الفيزيائيون بمساعدة من المعجلات العملاقة للجسيمات أن يولدوا أثرًا من شظية دون ذرية تسمى الكوارك الثقيل، جسيم يظل باقيًا لبيكو ثانية واحد قبل أن يضمحل مودعًا. من المسلم به أن جزءًا واحدًا من التريليون من الثانية قد لا يستحضر توًّا إلى الذهن متوشالح الوارد في التوراة بعمره البالغ الطول، ولا السيناتور ستروم ثيرموند،[٩] إلا أن دكتور جيف لاحظ أن الكوارك يستحق بالكامل تصنيفه عند الفيزيائيين بأنه جسيم «مستقر» طويل العمر. أثناء وجوده لفترة البيكو ثانية يكمل الكوارك دورات في مدار بالغ الضآلة بعدد من تريليون أو ١٠^١٢^ دورة. يقول جيف إنه على النقيض، فإن كوكبنا الأرض الذي يبدو كأنه لا يقهر، قد أكمل خلال خمسة بلايين سنة من وجوده خمسة أمثال ١٠^٩^ دورة حول الشمس فقط، ومن المتوقع أن يسجل ما قد يصل إلى ١٠ بليون دورة أخرى قبل أن ينهار نظامنا الشمسي ويموت. يضيف جيف: «يصل بنا هذا إلى ١٥ مرة ١٠^٩^ دورة، وهو ما يقل كثيرًا عن ١٠^١٢^. إذن، فمن المعقول جدًّا أن نظامنا الشمسي أقل استقرارًا بكثير من جسيم مثل الكوارك الثقيل. هناك أغلال «من مفهومنا الشخصي للزمان بتمحوره حول الإنسان» كما يقول جيف: «وهي تجعل من الصعب علينا أن نفهم مدى الاتساع الشاسع للاستقرار كما تجسده هذه الجسيمات».

عندما نهبط إلى لحظات هي أكثر ضآلة، سنصل إلى أن نحيي الأتّو ثانية، أو الجزء من بليون البليون من الثانية أو ١٠^-١٨^ ثانية. أقصر الأحداث التي يستطيع العلماء تسجيلها، في مقابل حساباتها، هي ما تقاس بالأتّو

---

[٩] ستروم ثيرموند عضو مجلس الشيوخ الأمريكي والوحيد الذي مات عن مائة سنة وهو لا يزال في منصبه. (المترجم)

ثانية. يستغرق الإلكترون ٢٤ أتو ثانية ليستكمل دورة واحدة حول ذرة الهيدروجين — وهي رحلة يؤديها الإلكترون بما يقرب من ٤٠٠٠٠ تريليون دورة في الثانية. يوجد في الدقيقة الواحدة عدد من الأتو ثانية أكثر مما وجد من الدقائق منذ مولد الكون.

لا يزال الفيزيائيون يواصلون معاودة تسجيل وحدات للزمان. أدخل العلماء في تسعينيات القرن العشرين وحدتين زمنيتين جديدتين في المعجم الرسمي، وهما وحدتان جديرتان بأن نعرفهما لمجرد تسميتهما وحدها: الزبتو ثانية: $١٠^{-٢١}$ ثانية، واليوكتو ثانية: $١٠^{-٢٤}$ ثانية. أقصر مدى زمني يدرك حتى الآن هو الكرونون أو زمن بلانك،[١٠] وهو يدوم لما يقرب من ٥ × $١٠^{-٤٤}$ ثانية. هذا هو الوقت الذي يستغرقه الضوء لينتقل لما يمكن أن يكون أقصر شريحة من المكان، طول بلانك، الذي يصل إلى حجم «الأوتار» الافتراضية التي يقول بعض علماء الفيزياء أنها تكمن في الأساس من كل مادة وقوة في الكون. إلا أن الكرونونات والأوتار لا تزال موجودة في مملكة الرياضيات والفلسفة بأكثر مما توجد في مملكة الواقع؛ لا أحد يعرف ما سيحدث إذا صغرنا أرقامنا لأكثر من ذلك وعشنا طفرة طويلة مع بلانك القصير حقًّا.

مع ذلك، فإن العالم لا يحب فحسب أن يجعل الأشياء أقصر، فهو يؤثر أيضًا طريقة التناول المسهبة إسهاب ملاحم البطولة، ويملي كتبًا ضخمة للزمان تكون مما لا يسبر غوره وكأنها رواية «يقظة فينيجان».[١١]

لننظر في ذلك أمر زمن الأرض وهو حقًّا يمثل ما يقول جيمس جويس «تيار نهر يتدفق عبر حواء وآدم». إذا كان لديك كل الوقت في العالم، ماذا سيكون عندك آنذاك؟ مسح التكوينيون كل صفحات سفر التكوين،

[١٠] البلانك وحدة على اسم ماكس بلانك الفيزيائي الألماني المشهور (١٨٥٨–١٩٤٧م) أحد مؤسسي نظرية ميكانيكا الكم. (المترجم)

[١١] يقظة فينيجان رواية للكاتب الأيرلندي جيمس جويس (١٨٨٢–١٩٤١م) وهي رواية بالغة الطول وبأسلوب سرد تجديدي صعب ومكتوبة حسب تدفق تيار الوعي وليس بالتسلسل الزمني والحبكة المألوفة. (المترجم)

ورسائل بولس لأهل غلاطية، وغير ذلك من المصادر الإنجيلية وحسبوا كل أصوات النسل الزاعقة، ووصل مجموع عمر الكون هكذا إلى «ستة آلاف سنة!». ولكن ياالساعة التكوينيين هذه — ماذا تكون الكلمة التي تعبر عن أن صيحات ديكها متأخرة «بست من القوى الأسية»؟ هناك واحد أو اثنان من علماء الجيولوجيا يؤمنون بقصة سفر التكوين التوراتية، وإن كان لهم إنتاجهم العلمي فيما عدا ذلك، وهم يصرون على أن الأرض صغيرة السن حقًّا ولكن الرب أضفي عليها ما يوهم بأنها بالغة القدم — ولكن هذا العالِم أو العالمين يختلفان مع ما يزيد عن ١٠٠٠٠٠ عالم من علماء الأرض في الولايات المتحدة وحدها. لا، لو كان لديك، بما يكفي، كل وقت الأرض سيكون عندك ٤,٥ بليون سنة، ذلك أن الأرض والكواكب الأخرى في المنظومة الشمسية استغرقت كل هذا الزمن الطويل لتتكثف من ذلك القرص المسطح من الصخر والغبار المحيط بالشمس الوليدة، قرص يشبه لعبة قرص البلاستك الذي يطرح في الهواء. والآن، سيبدو لأول وهلة أن فترة من ٤,٥ بليون سنة ليست مفرطة الطول، أو بالغة الشيخوخة، أو أنها لا تثير الروع بوجه خاص. وعلى كل، فلو أنك جمعت معًا تواريخ ميلاد كل فرد من البشر يعيش الآن، وافترضت عمرًا وسيطًا من ستة وعشرين عامًا سيكون لديك ما يقرب من ١٧٠ بليون سنة.

على أن ٤,٥ بليون سنة تمتد كل سنة منها طرفًا بطرف مع الأخرى، كما هي فعلًا، لهو عمر يمنح الأرض مرونة خارقة، ويجعلها في وضع حيث يكون كل شيء تقريبًا ممكنًا، الكوميديا الملزمة، حيث المراحل المؤقتة هي الداء المألوف الذي لا تفوته أي وليمة. ظل يحدث عبر ٤,٥ بليون سنة أن تتبادل البحار والسافانا مقايضة الأماكن في الأرض؛ وظلت أقطاب الأرض المغناطيسية تغير فجأة موضعها جيئة وذهابًا، وتستحوذ المثلجات[١٢] على كل الكرة الأرضية تقريبًا وكأنها قبضة مارد ثلجي؛ وهناك غابات مدارية سخية من أشجار حزاز سامقة وأشجار حنكة، وديدان ألفية الأرجل بطول رجال

[١٢] المثلجة تجمع جليدي عظيم غير ثابت قد يتحرك في مجار تشبه الأنهار. (المترجم)

البشر، ويعاسيب تماثل الصقر في مدى أجنحتها وتنتشر من أنتاركتيكا (قارة القطب الجنوبي) وأستراليا حتى كل أوروبا والأمريكتين. واهًا، نعم، يكاد يكون من المستحيل أن تفكر بلغة من الزمان الجيولوجي، بل يصعب ذلك حتى على الجيولوجيين.

يقول الجيولوجي كيب هودجز: «للآن وقد بلغت سن السادسة والأربعين، أنظر إلى الزمان نظرة مختلفة عما كنت في سن العشرين، وسوف أنظر إليه مرة أخرى بنظرة مختلفة عندما أبلغ الخامسة والسبعين. ولكن أيًّا من هذا لم يجعلني في وضع أفهم فيه ٥٠٠ مليون سنة أو ٦٥٠ مليون سنة، ناهيك عن ٤,٥ بليون سنة».

الجيولوجيون الذين يتصلون بانتظام بغير المتخصصين، يبذلون جهدهم حتى يوصلوا لهم المقاييس الهائلة للزمن الأرضي، وقد وصلوا في ذلك إلى تصور صنوف واسعة شتى من التعبيرات المجازية والوسائل البصرية المساعدة للتعليم وهي وسائل نابضة بالحياة، وكثيرًا ما تتضمن تجمعًا معقدًا من خيوط غزل طويلة أو لفّات متعددة من ورق دورة المياه. حاولت نيجل كالدر الكاتبة العلمية أن تقارن مرور بليون سنة بالمشي على مهل للتنزه في جزيرة مانهاتن. إلى يمينكم أيها السيدات والسادة، ترون كوبري جورج واشنطن، وأول علامات لأشكال الكائنات الحية وحيدة الخلية! بالسير طويلًا عبر منتزه سنترال بارك، وميدان التايمز، وناطحة السحاب إمباير ستيت: هناك مزيد من أشكال الحياة وحيدة الخلية! هناك تأريخات زمنية أخرى تكثف تاريخ الأرض في سنة واحدة بينما يضغطها البعض الآخر في يوم واحد.

الوسيلة المفضلة عندي لضغط الزمن هي تلك التي تصورها كيب هودجز عندما تخيل الأرض كإنسان مدى عمره من خمسة وسبعين سنة، وهو يقول: «مما يفتّح أعيننا حقًّا أن نفكر في معدل سرعة تنامي كوكبنا ومعدل تطوره بلغة من عمر الإنسان. بهذا التقدير، حيث الاثنا عشر شهرًا تكافئ ٦٠ مليون سنة، نجد أن الأرض الوليدة قد زادت سمنتها بسرعة شديدة. فقد أنهت تكثفها من القرص الكوكبي حول الشمس وأخذت تنمو بالمزيد من قطع الصخور والمعادن الإضافية لتصل إلى حجمها الحالي بعد

سنة واحدة من عمرها. بعد ذلك بشهر أو شهرين تجشأت صرتنا الضخمة ذات البقبقة لتلفظ من أمعائها جوًّا كثيفًا من ثاني أكسيد الكربون، والبخار، والنيتروجين، والكبريت، والميثان، والقليل من عناصر أخرى، خليط عفن خانق ستجد رئتنا أنها لا تقبله بالمرة ولكنه سمح للماء السائل أن يتدافع في الأحواض الشبيهة بفوهات البراكين على السطح بدلًا من أن يغلي ويضيع في الفضاء. الأرض وهي في سن مبكرة في مرحلة المراهقة فعلت ما ينبغي ألا يفعله الإنسان في العشرينات من عمره، وحدث في مكان ما، بطريقة ما لنسيجها المشبع الذي ما زال ساخنًا بالحمى أن وُلد منه أول أشكال الحياة. مضت تقريبًا ثمانية إلى عشرة أسابيع من نفاس ما بعد الولادة، وأخذت سلالات زرقاء — خضراء من البكتريا تبصق الأوكسجين في الجو، لتشعل شرارة ثورة بيوكيميائية ما لبثت الحياة في النهاية أن استفادت بها استفادة رائعة. على أننا لا نرى أول ظهور للحيوانات المتعددة الخلايا إلا في عمر الثالثة والستين — أي منذ ما يقرب من ٧٠٠ مليون سنة. وصلت أمنا الأرض سن الجدات، سن الثانية والسبعين قبل ظهور الديناصورات، ولم يصل أول حيوان من الرئيسيات إلا في مايو أو يونيو من السنة النهائية، سن الخامسة والسبعين من عمر جايا[١٣] المختصر الميسر هكذا ببراعة بتمحوره حول الإنسان. أما ظهور «الهوموسابينز» الحديث فقد كان في انتظار حلول أجراس يوم ٣١ ديسمبر، وظهرت الزراعة وتدجين الحيوان عند الساعة ١٠:٠٠ مساء في تلك الليلة، وخُربشت أول كتابة ودارت أول عجلة بعد ذلك بساعة، وتم القتال في الثورة الأمريكية عند الساعة ١١:٥٨ مساء، وحدث قبل منتصف الليل بعشرين ثانية أن عكر نيل أرمسترونج صفو سطح القمر، وشق طريقه متخبطًا إلى كتاب بارتلت[١٤] المرجعي.

عندما ننظر إلى الأرض من هذا المنظور، نجد أن روما ليست هي وحدها التي بُنيت في يوم واحد، وإنما كل تاريخ البشر أيضًا.

---

[١٣] جايا في الأساطير الإغريقية إلهة تجسد الأرض، أو جايا هي الأرض كما تُفهم ككيان حي في المنظومة الشمسية. (المترجم)

[١٤] كتاب بارتلت: كتاب مرجعي أمريكي مشهور وقديم منذ ١٨٥٥م، وفيه أهم الأحداث والرجال. (المترجم)

مهما كانت الأرض قديمة، فإن الكون بالطبع يكون أقدم. ولكنه ليس أقدم على نحو متطرف. فالكون ليس أقدم من الأرض بدرجة كبر أسية، أو بعشرة أمثال. وبدلًا من ذلك فإنه أقدم فقط بثلاثة أمثال: مرت ١٣,٧ بليون سنة منذ أعطى الانفجار الكبير الإذن بأن يبدأ الوجود كله. أنا شخصيًّا لم أحس قط بالتأثر من طول عمر الكون. بل إني على عكس ذلك أحس بالضيق من صغر سنّه، بمثل ما أشعر به عندما أرى قائد الطائرة وهو يدخل مقصورة القيادة في الطائرة التي أركبها، وقد بدا بالكاد في السن الذي لا يحتاج فيه إلى كرسي أطفال. لم يمر إلا ١٣,٧ بليون سنة فقط منذ بداية كل شيء — كل الوقت، وكل القوانين، وكل الشكاوى؟ ومع ذلك فعندما سألت علماء الفلك عما إذا كانوا يوافقون على أن عمر الكون بالغ الصغر بالنسبة لكيان كوني شامل هكذا، أخذوا قبل الإجابة ينظرون لي متفرسين وكأن سؤالي فيه خدعة ما، أو أنه تمرين ميتافيزيقي يثير الضجر. حسن، لا، ما دمت قد ذكرت ذلك، فإنه لا يبدو لي بالمرة كعمر صغير بوجه خاص. والسبب في أنهم يرون أن رقم ١,٣٧ × $١٠^{١٠}$ نتيجة معقولة تمامًا هو أنه عندما يتعلق الأمر بعلم الكونيات، فإنه يدور حول الزمان، ويدور حول المكان، ومقادير وحيز الزمان والمكان التي استطاعت خامة الكون أن تقولب نفسها فيها أثناء هذه الفترة التي تقرب من ١٤ بليون سنة وهي مقادير كبيرة جدًّا جدًّا.

من الصعب بالنسبة لعالم الفلك أن يصدر حكمًا منصفًا على مقاييس المسافات الكونية. يكاد كل شيء أن يكون بالغ البعد، أبعد من كل ما تظنه مهما كانت تتأصل فيك حالة اليأس من فقدان القيم. الاستثناء الوحيد من الابتعاد المخيف هكذا بمسافة كبيرة هو القمر. القمر لا يبعد عنا إلا بمسافة ١٤٠٠٠٠ ميل، أو عشرة أمثال محيط الأرض؛ لو كان يمكننا الطيران إليه بنفاثة عادية، لاستغرق الوصول إليه عشرين يومًا. ولكن هذا من الوجهة العملية لن يحدث إلا في نزوة لاختياره لقضاء شهر العسل. الرحلة بطائرة نفاثة إلى الشمس تتواصل لمدة واحد وعشرين عامًا، ويبقى عند هذه النقطة أن ننصح المسافرين بأن محتويات حُجيرة الحقائب فوق رءوسهم هي والحُجيرة نفسها قد تذوب منصهرة.

حتى نكتسب إدراكًا أكثر ثراء لنسب المقاييس الكونية، نستطيع أن نعيد صياغة ما قاله الشاعر الإنجليزي وليام بليك، وننظر إلى الأرض كحبة رمل دقيقة وستكون الشمس عندها جرمًا في حجم برتقالة على بعد عشرين قدمًا، بينما المشترى، أكبر كواكب المنظومة الشمسية يكون في حجم حصاة تبعد أربعة وثمانين قدمًا في الاتجاه الآخر — بما يصل تقريبًا إلى طول ملعب كرة سلة — أما أبعد ما يدور إلى الخارج في المنظومة الشمسية — كوكبا نبتون وبلوتو — فسيكونان حبوبًا أكبر وأصغر بالترتيب تبعدان عن حبيبة الأرض بمسافة بنايتين وربع. فيما يتجاوز ذلك، تغدو الفجوات بين مشاهد الأحداث منافية للعقل، وأفضل ما نستقر عليه حيالها أن نروح في غيبوبة مريحة لطيفة. لو افترضنا أن نموذجنا الصغير لبيان مواقع الكواكب في المنظومة الشمسية قد أمكننا طيه لندخله في جيرة هادئة في «نيوآرك» بولاية نيوجيرسي، فلن تستطيع الوصول إلى النجوم المجاورة لنا — المنظومة الثلاثية لنجوم ألفا قنطورس. إلا إذا انطلقت إلى مكان ما في الغرب تمامًا من أوماها، أما النجم التالي لذلك فلن تصل إليه إلا عند سفوح جبال روكي. يوجد بين الأجرام الفلكية مسافات كبيرة من الفضاء، الفضاء الناعم المتجهم الصغير الأسود، الكثير من العدم، خواء من لا شيء. وكما نرى. في مملكة ما هو صغير جدًّا، أي مملكة الداخل من الذرة، أنها تتكون كلها تقريبا من حيز خاوٍ، فإننا نجد أن مملكة السماء أيضًا تماثل ذلك تمامًا. الطبيعة فيما يبدو معجبة في وله بالفراغ.

يقول مايكل براون بمعهد «كالتك»: «الكون فضاء خاو إلى حد بعيد، وهذا أمر لا يدركه معظم الناس. تذهب لرؤية فيلم «حرب الكواكب» وترى أبطاله وهم يطيرون خلال حزام الكويكبات، وهم يدورون ويلتفون بلا توقف ليتفادوا الاصطدام بالكويكبات.» ويضيف براون إن ما حدث واقعيًّا عندما طارت سفينة الفضاء «جاليليو» خلال حزام الكويكبات في منظوماتنا الشمسية في أوائل تسعينيات القرن العشرين، أن «ناسا» أنفقت ملايين الدولارات في محاولة جنونية لتوجه السفينة إلى مسافة قريبة قربًا كافيًا من أحد الكويكبات الصخرية الخشنة لتلتقط صورًا له وربما لتأخذ

أيضًا عينة من بعض غباره. ويقول براون: «وعندما حدث لحسن حظهم أن مرت السفينة بالفعل بكويكبين «اثنين»، اعتبر ذلك حقًّا أمرًا مذهلًا. أما أثناء معظم رحلة «جاليليو» فلم يكن هناك إلا «لاشيء». لا شيء يُرى، لا شيء تُلتقط له صور جميلة. ونحن هنا نتحدث عن المنظومة الشمسية، وهي منطقة من الكون لها كثافتها إلى حد بعيد.»

دعنا لا ننخدع أيضًا بالصور الرائعة لمجرات مبهرة تبدو كأرجوحة دولاب الهواء، مع نتوءات جانبية في قطاعاتها الوسطى. هذه المجرات أيضًا شبحية في معظمها: متوسط المسافة التي تفصل بين النجوم يزيد عن المسافة بيننا وبين الشمس بما يقرب من مائة ألف مثل. أجل، مجرتنا فيها ما يقرب من ٣٠٠ بليون نجم وهو ما يحسب لها، ولكن هذه النجوم مبعثرة عبر فجوة هائلة قطرها ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية. هذه مسافة تقرب من ٦ تريليونات من الأميال (المسافة التي يقطعها الضوء في سنة) مضروبة في ١٠٠٠٠٠، أو هي مسافة اتساعها ٦ × ١٠^١٧ من الأميال. وحتى عندما تستخدم المقياس المنكمش للشمس البرتقالية التي تقع على بعد عشرين قدمًا فقط من أرضنا حبة الرمل، فإن عبور المجرة سيتطلب رحلة تزيد عن ٢٤ مليونًا من الأميال.

مما يثير الاهتمام أن المسافات بين المجرات هي نسبيًّا قابلة لأن يعالج أمرها عندما تقارن بالفجوات ما بين النجوم داخل إحدى المجرات. بمعنى أن متوسط المسافة من إحدى المجرات إلى الأخرى يكون أكبر من حجم أي من المجرتين بما يقدر بعدة عشرات فقط من مثل هذا الحجم، في حين أن المسافة الفاصلة بين النجوم تكون أكبر من قطر أي نجم بمفرده بمئات الآلاف أو بملايين المرات. يقول روبرت ماثيو أستاذ علم الفلك في جامعة ويسكونسن: «هذا هو السبب في أن النجوم لا يصطدم أحدها بالآخر، ولكن المجرات تفعل.» من المتوقع أن تصطدم في يوم ما مجرتنا درب التبانة مع أقرب جارة لها، مجرة إم٣١ (M_{31}) — المعروفة أكثر باسم مجرة أندروميدا (المرأة المسلسلة) — ولكننا نتحدث هنا عن حادث اصطدام وتحطم رهيب مؤجل لما قد يصل إلى ٤ بلايين سنة مستقبلًا. وبالإضافة إلى هذا، بسبب

ما تتسم به أي مجرة على حدة من مسافات شاسعة، فإن حقيقة أن هناك فجوات واسعة هكذا بين النظم الشمسية لكل مجرة لن تجعل من هذا الحدث حدثًا عنيفًا بوجه خاص.

تظل القياسات الكونية في جزء كبير منها مأساوية، خادعة ويكاد يستحيل الصفح عنها. يقدر عدد المجرات في الكون بأنه ١٠٠ بليون مجرة، كل منها مجهزة بما يقرب من ١٠٠ إلى ٢٠٠ بليون نجم، ويكون لدينا هكذا قائمة جرد للنجوم من ١٠^٢٢ من الشموس أو النجوم التي قذف بها بعيدا: عدد من النجوم أكثر مما يمكن أن نتطلع إليه، عدد أكثر من أن يسمح لنا بأن نضل الطريق في الظلام. المسافة بين النجم والآخر وعرة يصعب اجتيازها لدرجة أنه حتى لو كان الكون يعج بالحياة الذكية، فإن احتمال أن نسمع شيئًا عن حضارة من خارج الأرض أقل من احتمال أن يسمع الوالدان شيئًا من أولادهم وهم في سن الجامعة. ولكن قبل أن نغوص في حال من كآبة بيكيتية[١٥] كما في القصيدة عن الجنين الذي يغوص في كآبة وهو حبيس في كيس النخط في الرحم،[١٦] دعنا ننظر في الأمر بمنظور مارتن شميدت أحد كبار أساتذة الفيزياء الفلكية. يحاج شميدت بأن الكون أبعد من أن يكون مستنقعًا شاسعًا بنسب أبعاد مذهلة، وإنما الكون على غير المتوقع في حالة انضغاط، بل حتى يشبه أن يكون له جو كالبيت. شميدت رجل هولندي كيّس، في السبعينيات من عمره، وشعره أبيض وعيناه زرقاوان فاتحتان، وهو عندما يجلس ويتحدث بصوت هادئ بحيوية غير صارخة، يُبقي ذراعيه الطويلين مطويين بأناقة فوق ساقيه الطويلتين المتقاطعتين. يقول شميدت: «إذا خرجت ذات ليلة والسماء صافية وأنت بعيد عن المدينة، تستطيع أن ترى مجرة أندروميدا (المرأة المسلسلة)، تلك المجرة المجاورة لنا والتي يُتوقع أن تصطدم بها في يوم من الأيام.»

ويضيف مفسرًا: «حتى ننتقل من أندروميدا إلى ما نسميه بأنه حرف الكون القابل للرصد، سنحتاج إلى أن ننطلق فحسب إلى مسافة تزيد بعامل

---

[١٥] بيكيتية: نسبة إلى صمويل بيكيت الكاتب العبثي المعروف. (المترجم)
[١٦] من قصيدة للشاعرة الأمريكية لوسي شو، ٢٠٠٣م. (المترجم)

من ثلاثة آلاف. إذن، فإن حرف الكون المعروف، أقصى نقطة أمكن للضوء أن يصلنا منها، يبعد عنا فحسب بثلاثة آلاف مثل لبعدنا عن أقرب مجرة لنا.»

والآن لنفترض أنك تنظر إلى أقرب منزل لمنزلك، ولنفترض أنه بعيد بمائة ياردة. إذا كان عليك أن تقطع مسافة تصل إلى ثلاثة آلاف مثل لهذه المسافة، فستنتقل فقط لثلاثمائة ألف ياردة، أو ما يقرب من مائتي ميل. ومن ثم إذا رسمت دائرة تحيط بكل مجتمعك، كل عالمك، وكان قطر هذه الدائرة مائتي ميل، ألن تعتقد عندها أن مجتمعك هذا له نسب أبعاد قابلة للتعامل معها؟ ألن تدهش عندها مما يثبت في النهاية من مدى قرب حافة عالمك؟ هذا هو السبب في أني أقول بأن كوننا صغير، على الأقل باعتبار ما يمكننا رؤيته منه.

وقال: «وبالطبع، أدرك أن موقفي لا يمكن تبريره»، قبل أن يدافع عنه على الفور بابتسامة صغيرة لطيفة.

هكذا يقارن شميدت الكون بنوع من قرية من قرى البويبلو عند الهنود الحمر في المكسيك محاطة بسياج من الأوتاد، وعلى الرغم من أن دعواه هذه جذابة، إلا أننا عندما نصل إلى وجهة النظر الاحترافية عما هو صغير، ستجد أن الأشياء الصغيرة حقًّا صغرًا لا خداع فيه هي الجزيئات، والجسيمات. أنت تظن أنك تعيش حياة طبيعية لها أحجام من الحياة، حسب اللغة البشرية، وتسوق سيارتك إلى السوبر ماركت، وتجمع الطعام من جوز ودرنات، وضلوع لحم؛ إلا أن الحقيقة أن «أحجام الحياة» لا علاقة لها بك، ولا بمحتويات عربة السوبر ماركت التي تحمل مشترياتك، ولا بقدم شارلمان. أصحاب تجارة الحياة الحقيقيون، الأشياء التي تبقي الحياة حية والتي توصف بأنها لها أحجام الحياة، كلها أشياء خفية لا تُرى. فهي أضأل من أن تُرى بالعين المجردة، وإنما هي ميكروسكوبية، بما يعني بالطبع أنك تحتاج إلى ميكروسكوب حتى تراها. لسوء حظ الأغلبية منا، أننا نترجم لفظ اللامرئي إلى اللامهم — أو كما تفسره جدتي بنبرة موسيقية بأنه «فه». هكذا لا يبقى لنا إلا حس ضئيل بمدى الخفاء عن

الرؤية الذي تتصف به المكونات التي بُنينا بها حقًّا. ما هو حجم الخلية، أو البروتين الذي يبرز إلى الخارج من السطح الدهني لما يسمى بالخلية، أو ما حجم جزيئ «دنا» الموجود في المركز من الخلية؟ عندما تنظر إلى طرف أصبعك، ما هو تقريبًا عدد خلايا الجلد التي تراها؟ ثم ماذا عن خلية البكتريا — هي أكبر أم أصغر من خلية من خلايا الجلد الخشنة؟ كذلك جزيئات الماء التي تترابط ثم تتفكك لتترابط ثانية بسرعة بالغة: أين تتخذ موضعها الملائم في ترتيب المشهد اللامرئي؟

حتى نتخذ لأنفسنا الاتجاه الأمثل مع لفظ «فه» لجدتي، هيا نستغل رأس الدبوس، تلك القاعة القديمة للرقص اللاهوتي. رأس الدبوس عرضها ملليمتران، أو جزآن من الألف من المتر. نجد بالمقارنة أن شعرة الإنسان عرضها في المتوسط مائة ميكرون (الميكرون كما تذكر جزء من مليون من المتر). تستطيع إذن أن تطوي عشرين شعرة فوق رأس دبوس إذا حزمتها معًا متقاربة بإحكام. نصف قطر الشعرة البشرية أو الخمسون ميكرون تمثل إلى درجة كبيرة أدنى حد لما يمكن أن تراه العين البشرية حتى إذا كانت بأقصى درجة طبيعية من قوة التحديد، ولن ترى العين أي شيء أصغر. حسن، من هنا إذن يكون ثمة سبب لاستخدامنا كثيرًا لعبارة «عرض شعرة إنسان» لتعني ما يكون «بالغ الصغر بمستوى العين المجردة» وبعبارة أخرى نحن لا نستطيع أن نرى هباءة من حب لقاح عشبة الرجيد التي يبلغ عرضها عشرون ميكرونًا، إلا إذا استخدمنا أداة مكبرة. أما من هم عرضة لأمراض الحساسية، فهم ليسوا في حاجة لرؤية حبوب اللقاح حتى يعطسوا منها، وعند وجود ١٠٠٠٠ حبة لقاح أو ما يقرب ملتصقة برأس دبوسك، فإن فيها الكفاية لنوبة عطس يعقبها قولنا «صحة وعافية».

خلية الدم البيضاء عرضها ١٢ ميكرونًا. إذا كسونا سطح رأس الدبوس بكرات الدم البيضاء كما نكسو الحائط بالورق، فسوف نرى عددًا من الكرات يقرب من ٢٨٠٠٠ كرة. تشبه خلية بكتريا إ. كولاي شكل السجق وطولها ميكرونين وعرضها نصف ميكرون، بما يسمح لأن تستعمر ثلاثة ملايين منها إبرة الخياطة، وباعتبار ما لهذه البكتريا من قدرة على الانتشار فربما

تكون قد نفذت بالفعل إجراء هذا الاستعمار. البكتريا عمومًا أكبر كثيرًا من الشخصيات الميكروسكوبية الأخرى التي نصفها بأنها «جراثيم» — ونقصد بها الفيروسات. الفيروس بخلاف البكتريا ليس خلية. فهو تنقصه كل مكونات الخلية تقريبًا، وأهم ما ينقصه هو وجود وسيلة للتكاثر المستقل، وهو بدلًا من ذلك لا بد له من أن يتسلل داخل خلايا كائنات حية أخرى ويختطف الماكينة التكاثرية المقيمة فيها لتعمل من أجل استمرار بقائه هو شخصيًّا. هناك مبدأ بأن المراوغة والإنجاز الكبير يتطلبان اقتصادًا فيه تقتير: حتى الفيروس الكبير مثل فيروس إيبولا له فحسب عُشر آثار قدم بكتريا إ. كولاي. الفيروس الضئيل مثل الرينو فيروس الذي يسبب نزلة البرد العادية، وإن كانت غير عادية في عدواها، يصل عرضه إلى ثلاثة أجزاء فقط من المائة من الميكرون أو ثلاثين نانومترًا، وتستطيع عشرات الملايين من هذا الفيروس أن تنطلق في الهواء فوق نقطة رذاذ يتم عطسها قُدُمًا من زميلك في العمل بأنفه القَانية الاحمرار.

إذا فتحنا خلية بشرية، سنجد داخلها قوة العمل الخاصة بالحياة، تلك الجزيئات الثنائية ذات البطولة التي تؤدي كل العمل اللازم للإبقاء عليك حيًّا طول حياتك التي تبلغ ثلاثة بلايين ثانية، بما يزيد أو ينقص بقليل من $١٠^{٢٥}$ أتوثانية. إنه جزئ الهيموجلوبين، البروتين الذي يحمله الدم ويأسر جزيئات الأكسجين من الرئتين ويوصلها لكل الجسم، وقطر جزئ الهيموجلوبين يقرب من خمسة نانومترات، وهو سدس حجم فيروس البرد. وهناك الكولاجين، البروتين الضام الذي يضفي على الجلد وعلى حلوى الجيلي ما لهما من مرونة، وهو جزئ طويل ورفيع ومتين كقطعة من خيط حرير دقيق، وعرضه القليل من النانومترات وطوله المئات منها.

سنجد واقعيًّا في عمق بطن كل خلية من خلايانا ما نمتلكه من «الدنا» — ذلك الجزيء المشهور الذي يُعد رمزيًّا، مع شيء من المبالغة، مفتاح مغاليق كل جيناتنا. ينضغط هذا اللولب المزدوج في حزمة لها عقد، ويختلف قياسها حسب الوظيفة التي تؤديها الخلية فيتراوح ما بين ١٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ نانومتر في قطره. وحتى عند أعلى مدى من حجم حزم دنا

المعبأة، سنجد أنه ربما يمكن أن يجثم فوق رأس دبوسنا خمسة ملايين من الجينومات[17] البشرية الصغيرة — خمسة ملايين من تلك الكئوس العلمية المقدسة، خمسة ملايين كتاب للحياة، خمسة ملايين طبعة تصميم زرقاء[18] لطفل وليد.

تعد جزيئات دنا هي والبروتينات كفك حوت بدين بالنسبة للجزيئات الأخرى في الخلية. هناك جزئ سكر الجلوكوز، السكر البسيط الذي يزود بالوقود أوجه النشاط داخل خلايا جسدنا المشغولة دائمًا بالمهام، هذا الجزيء له فحسب سدس حجم بروتين الهيموجلوبين، أما جزئ الأوكسجين الذي يحمله الهيموجلوبين فحجمه ثلث حجم السكر.

جزيئات الأوكسجين هي أوضح وأقصر ما يربطنا بالحياة. لو حرمت أي جزء من جسدنا من الأوكسجين، سيختنق نسيجه ويأخذ في الموت خلال دقائق. ما هي هذه الروابط التي لا غنى عنها وإن كانت كأزرار طرف كم القميص، كل جزئ منها فيه ازدواج أنيق لذرتين من (أ٢) يربطنا بالحياة، في رحلتنا القياسية التي تصل بنا هبوطًا حتى الذرات. سادتي وسيداتي، نحن جميعًا قد صُنعنا من ذرات، والذرات «غاية في الضآلة». ولكن كم هو سخيف أن نحاول توصيل المعلومات بأن نختار أصغر بنط ممكن للطبع، لا يمكن قراءته، وأنا حتى لست ممن يكتبون الوصفات الدوائية المقحمة بين الصفحات. الذرات أصغر تمامًا من أي بنط لحروف المطبعة. هناك أكثر من مائة نوع مختلف من الذرات، ابتداء من أخفها وزنًا مثل الهيدروجين والهيليوم ووصولاً إلى الوزن المتوسط مثل القصدير واليود، وإلى ما يماثل ظبي الموظ الضخم مثل الذرات ثقيلة الوزن كذرات العنصرين التخليقيين الجونونبنتوم هو والجونونكواديوم، على أن الذرات كلها تتماثل إلى حد بعيد، فحجمها كلها تقريبًا لا شيء. يمكننا أن نحشد أكبر من ثلاث ذرات في نانومتر واحد، بمعنى أن عدد الذرات التي تقطن قرص رأس الدبوس

[17] الجينوم: مجموع المادة الوراثية في نواة الخلية. (المترجم)

[18] طبعة التصميم الزرقاء: صورة للتصميم الهندسي على ورق أزرق يستخدم عند تنفيذ الإنشاءات الهندسية كالمباني أو الماكينات. (المترجم)

يصل إلى ١٠^١٣ أو تريليون من الذرات. العجيب فيما يتعلق بالذرة أنها مع صغرها الغريب لا يزال حجمها الصغير هذا أكبر مما ينبغي بالنسبة لها: يكاد كل مداها هذا الذي يقاس بأقل من النانومتر أن يكون مجرد حيز من فراغ. كتلة الذرة الحقيقية هي في قلبها، في نواتها، التي يرجع إليها أكثر من ٩٩,٩ في المائة من مادة الذرة. عندما تقف فوق ميزانك في الحمام، سوف تقيس أساسًا مجموع وزن نوى ذراتك. لو كان يمكنك نزعها كلها من جسمك، وأن تعيش على غذاء كله بلا نوى، سيهبط وزنك إلى ما يقرب من عشرين جراما، أو وزن ٤ قطع من عملة السنتات الخمس، أو تقريبًا وزن المسمار كبير الرأس الذي ستكون في مثل حاله من الموات.

ترجع هذه الجرامات العشرين إلى إلكتروناتك، أي الجسيمات الأساسية التي تدور حول نواة الذرة. الإلكترون له كتلة أقل من ١/ ١٨٠٠ من كتلة نواة ذرة بسيطة. إلا أن السحابة المكونة من إلكترون أو أكثر من هذه الإلكترونات التي تشبه العفريت الشكسبيري الطيب آريل،[١٩] تلك السحابة التي تحيط بقلب الذرة، هي التي تعيّن حرف الذرة ومن ثم حجمها. ثم يااللعجب، كم هي شاسعة تلك الفجوة بين القلب المكتنز والسحابة التي تدور في مدار من حوله. قطر نواة الذرة هو فحسب ١/ ١٠٠٠٠٠ من حجم كل الذرة الذي يقل عن النانومتر والذي يرسم حدوده الإلكترون. إذا نظرنا إلى المشهد من زاوية القياسات الأكثر إثارة، فسنرى أنه في حين أن النواة هي التي تصنع تقريبًا كل كتلة الذرة، إلا أن كتلة مادة الذرة التي نقدر أهميتها ثم نحتج عليها لا تشغل إلا جزءًا واحدًا من التريليون من حجمها.

يستحق الأمر هنا أن نعود مرة أخيرة إلى الاستعارة المجازية. إذا اعتبرنا أن نواة الذرة هي كرة سلة تقع عند مركز الأرض، ستكون الإلكترونات كبذور الكرز في مباراة قذف البذور من الفم إلى الهواء، وتدور البذرة الإلكترون في طنين في أبعد طبقة خارجية بجو الأرض. إلا أنه بين «ويلسون» بطل كرة السلة النووية وبين البذور الطائرة لن يكون هناك أي كرة أرضية:

[١٩] آريل عفريت طيب في رواية شكسبير «العاصفة». (المترجم)

لا حديد، ولا نيكل، ولا صهارة صخر، ولا تربة، ولا بحر، ولا سماء. مرة أخرى لن يكون هناك إلا اللاشيء بالمعنى الحرفي للكلمة، مهما كان ما تتحدث عنه، الفضاء الداخلي، أو الفضاء الخارجي، مجريًّا كان أو ذريًّا. نحن نعيش في كون يخلو إلى حد بعيد من المادة. ومع ذلك لا تزال مجرة درب التبانة تتوهج، وما زال ما لدينا من الهيموجلوبين يتدفق، وعندما نحتضن أصدقاءنا لا تغوص أصابعنا في الفراغ الذي يملأ كل الذرات. إذا كنا عندما نلمس جلدهم نلمس الخواء، لماذا إذن نشعر بأنه مكتمل هكذا؟

الفصل الرابع

الفيزياء

وليس هناك ما كثير عليّ

إذا افترضنا أن هناك كويكبًا ينذر بالشر بما يشبه ديناصورًا من نوع «تيرانوسورس ريكس»[1] (Tyranosaurus rex)، أو إحدى ثلاثيات الفصوص[2] العملاقة، أو المخرج ستيفن سبيلبرج، وهذا الكويكب سوف يرتطم بالأرض غدًا، ويبيد الجزء الأكبر من الحضارة البشرية وما فيها من بلايين المواطنين. ما هو أثمن كنز صغير من الثقافة البشرية يكون أكثر جدارة بالحفاظ عليه؟ ما هو ذلك الجزء الوحيد من المعرفة، أو ذلك التبصر النافذ في طبيعة الكون، الذي سيثبت أنه الأكثر فائدة للقلة الناجية وهي تكافح لإعادة بناء كل آمال وإبداعات «الإنسان العاقل»؟ قد يقترح محبو الفنون الحفاظ على المجموعة الكاملة لأعمال وليم شكسبير أو جوهان سباستيان باخ. أما من يكون له منحى تفكير طبي فربما يعطي صوته للمضادات الحيوية، وأدوية التخدير، أي إدراك عام بما يجب ألا يفعله المرء بمحتويات مبولة غرفة النوم. ريتشارد فينمان فيزيائي عظيم رُسم

---

[1] تيرانوسورس ريكس ديناصور ضخم آكل لحوم، شاع وجوده في العصر الجيولوجي الطباشيري الذي انتهى من ٦٥ مليون سنة. (المترجم)

[2] ثلاثيات الفصوص: حيوانات مفصلية قشرية بائدة توجد حفرياتها في حقب الحياة القديمة الذي كانت بدايته من حوالى ٥٧٠ مليون سنة. (المترجم)

حاملًا لقب «العبقري» و«الكثير المزاح»، وقد أخذ مأخذًا جديًّا مشكلة إعادة البناء بعد وقوع كوارث سفر الرؤيا. تساءل فينمان بفصاحة أثناء إحدى محاضراته المشهورة: «إذا حدث في بعض جائحة أن أصاب الدمار كل المعرفة العلمية، وسوف تُمرر جملة واحدة فقط، للجيل التالي من المخلوقات، ما هي الجملة التي تحوي أقصى قدر من المعلومات في أقل عدد من الكلمات؟ أعتقد أنها الفرضية الذرية، أو الحقيقة الذرية، أو أيًّا كان الاسم الذي تود أن تطلقه عليها، فرض أن كل الأشياء قد صنعت من ذرات. تلك الجسيمات الصغيرة التي تتحرك هنا وهناك حركة دائمة، وتجذب إحداها الأخرى عندما تفصلها مسافة صغيرة، ولكنها تتنافر عندما تنضغط إحداها مع الأخرى». ويضيف قائلًا: «خذ هذه الجملة الواحدة، وقلبها مع القليل لا غير من التخيل والتفكير» وسيكون لديك عندها «تاريخ الفيزياء»، طبعة دار نشر فونيكس رايزنج.

الفيزياء تعد أحد فروع المعرفة الأكثر تواضعًا، وحسب كلمات ستيفن بولوك أستاذ الفيزياء بجامعة كولورادو، فإنه يقول في نص شائع له إن الفيزياء ليست أقل من «دراسة ما صُنع العالم منه، وكيف يعمل، ولماذا تسلك الأشياء في العالم بالطريقة التي تسلكها؟ وكلما قل ما يقال يكون ذلك أفضل. تستمتع الفيزياء منتعشة بالاختزالية، وهي كلمة تتضمن بالنسبة للكثيرين معنى «التبسيط المفرط» و«احتمال ألا تنطبق على أي فرد في دائرة علاقاتي الاجتماعية»، ولكن هذه الكلمة هي في الحقيقة طريقة أخرى للقول بأننا «نفهم شيئًا معقدًا بلغة من الأجزاء المكونة له.» هذا بالطبع ما تسعى إليه معظم العلوم، ولكن الفيزياء تذهب في ذلك إلى أبعد مدى، وتفكك الأجزاء المكونة حتى تصرخ في طلب «السيد مارك»[٣] الفيزياء هي

[٣] «السيد مارك»: شخصية في رواية «Finnegans Wake» لجيمس جويس. العالِم مواري جيل-مان فيزيائي نظري ومروّج خبيث لرواية «Finnegans Wake»، وقد منح اسم الكوارك المشهور للّبنات الأساسية لبناء المادة فسماها «كواركات» حسب قصيدة في رواية جيمس جويس التي تعد من أقل ما يمكن فهمه: ثلاثة كواركات للسيد مارك! (Mark)، من المؤكد أنه ليس لديه الكثير من قشر اللحاء (bark) ومن المؤكد أن أيًّا مما لديه منه، كله خارج الموضوع (Mark) besides the. على الرغم من أن جويس فيما يفترض كان يقصد أن تُنطق كلمة Quark على أنها في قافية. مع Mark و(bark)، إلا أن اسم الجسيم تحت الذري ينطق عمومًا بأنه (كورك) كما في كلمة (pork)، ويتفق أن نطق (كورك) هكذا هو طريقة النطق المفضلة لنوع من جبن معالج حمضيًّا يشيع في ألمانيا. (المؤلفة)

علم أجزاء البداية والقوى الأساسية، وهي هكذا تحوي الإجابة عن الكثير من الأسئلة الأساسية. ما السبب في لون السماء الأزرق؟ لماذا تصاب بصدمة بالكهرباء عندما تجتاز مجهدًا حجرة مغطاة بالسجاد وتلمس مقبض باب معدني؟ لماذا يجعلك قميص «تي شيرت» أبيض تحس بابتراد في الشمس أكثر مما لو كنت ترتدي قميصًا أسود، حتى ولو كان القميص الأسود أرق وأخف كثيرًا؟

الفيزياء باعتبارها علم أجزاء البداية والقوى، يمكننا أن ندافع عنها أيضًا كالعلم الأمثل لبداية دراسة العلوم. إلا أن البيداجوجيا الأمريكية التقليدية قد حكمت بغير ذلك من زمن طويل. يبدأ الطلبة في معظم المدارس الثانوية بدراسة البيولوجيا في الصف العاشر، ويتبع ذلك دراسة الكيمياء، ثم ينتهي الأمر بالفيزياء في سنتهم الأخيرة، وهذا مسار قد تحدد حسب الاعتقاد التقليدي المتوارث بأن عقول الصغار يجب أن توجه برفق من العلم «الأسهل» إلى العلم «الأصعب». إلا أن الكثير من العلماء يشنون مؤخرًا الحملات لقلب ترتيب ما يُعلَّم، لتدرس الفيزياء أولًا وعلم الحياة في الآخر. يقود الهجوم من أجل هذا التغيير ليون ليدرمان، الحائز على جائزة نوبل والأستاذ غير المتفرغ في جامعة إلينوي، وهو يحدث صدمة مميزة بشعره الأبيض شبه الفلوري الذي كثيرًا ما ينعم به كبار السن في مجال دولة الفيزياء.

يحاج ليدرمان هو وآخرون بأن الفيزياء هي الأساس الذي تنبني عليه الكيمياء والبيولوجيا، وأنه من غير المعقول أن نبدأ بإقامة الجدران معًا ونثبت السقف قبل أن يُصب الأساس الخرساني. وهم يصرون على أنه عندما تُدرس الفيزياء بالطريقة الصحيحة، لن تكون «أصعب» من أي موضوع آخر يستحق المعرفة. تبنت بعض المدارس ما أُوصي به لتصحيح المقرر، ومن المؤكد أن هناك مدارس أخرى ستتبعها. وأنا لا أكتفي بالموافقة على منطق ليدرمان بأن تكون طريقة تناولنا للأمر بدءًا من الأساس الأرضي ثم الارتفاع بالبناء؛ وإنما أثق أيضًا بما لديه من نزعة قلبه الشعبية. يتفق أن ليدرمان قد استمر طويلًا في السعي في الضغط على شبكات التليفزيون

لتضطلع بدورها في تحسين صورة العلم عند الجمهور عن طريق بدء مسلسل تليفزيوني يقوم على فريق من العلماء الذين يمارسون عملهم في المعامل. علماء فيزياء، أو كيمياء حيوية، أو مشتغلون بالدراما أو المواقف الكوميدية، لا يهم ليدرمان أي من هذا؛ المهم أن تكون الشخصيات بحيث تتحدى القوالب النمطية السخيفة فيكون لها صراعات عاطفية وتتبارز فيما بينها وتتفادى الضربات، ويكون لها دوافعها وشكوكها الذاتية، مع بروز للوجنات وأناقة للأحذية.

الفيزياء إذن هي بوابة مدخل العلم الضخمة، فرع المعرفة الذي ترتكز عليه الفروع الأخرى، حتى وإن كان ذلك أحيانًا بغيظ منها. وكما طرح فينمان في مشروعه عن بعث الحضارة البشرية بعد الجائحة، الذي يشبه مشاريع استعادة أنواع من البط بعد تعرضها للانقراض، فإن أكثر جانب رئيسي طرحه فينمان في هذا المجال التأسيسي هو الذرة.

كل شيء، وأي شيء يستحق أن يسمى «شيئًا» مصنوع من الذرات. بل حتى تلك الأشياء التي لا تكون شيئيتها واضحة، يمكن في النهاية أن نعّريها مما يغطيها خارجيًّا حتى نصل إلى لباسها الداخلي من الذرات. هناك مثلًا الأفكار. عندما تندفع من مخك ثم خلال أكوام الورق في حُجيرة مكتبك، ستبدو هذه الأفكار متحدية بسرعة انطلاقها، وخلوها بشدة من أي خامة مادية. إلا أن خلايا المخ التي ولدت هذه الأفكار مبنية من الذرات، وإذا كانت إحدى الأفكار تقدح زناد فكرة أخرى فإنها تفعل ذلك عن طريق بث الكيماويات العصبية على طول مسالك مشبكية في المخ، وهذه بدورها تجمعات هائلة من الذرات؛ وإذا صببت أفكارك في صحيفة إلكترونية لتوزيعها لاحقًا في لغو ودِّي في بريد الكمبيوتر، فإنك هكذا تنهب شاشة الجهاز البريئة بأن تعيد تنظيم الذرات في سطحها المغطى بالفوسفور.

نحن قد بُنينا كنظام من لعبة صفيحية ذرية يتفق أنها منظومة رائعة لوضع الأشياء في الوضع الصحيح.

راما مورتي شانكر أستاذ للفيزياء في جامعة برينستون، يقول: «إذا أردت أن تكرر إنتاج شيء ما ستجد أنه عندما يكون هذا الشيء مصنوعًا من

وحدات منفصلة فسوف ترتكب أخطاء أقل مما لو كان مصنوعًا من مادة متصلة. وبمثل ذلك سيكون ما ترتكبه من أخطاء وأنت تحاول أن تتهجى كلمة أقل مما ترتكبه وأنت تحاول إعادة إنتاج أحد الألوان.» ويضيف شانكر: إنه لأمر طيب أن نعرف على المستوى العميق أن «كل ما يهمنا هو فقط ما يزيد عن مائة من أنواع الحروف المختلفة، أنواع مختلفة من الذرات».

نظرية أن المادة كلها مصنوعة من ذرات تعد أحد التبصرات العميقة في طبيعة الواقع، تبصر وُلد مبكرًا في شكل من طور يرقيٍّ ملفق إلى حد بعيد واستمر لما يقرب من ألفي سنة، حتى طرح فيزيائيو القرن العشرين في النهاية الأدلة التجريبية لوجود الذرة كما فعل ألبرت أينشتين ونيلز بوهر. حاج الفيلسوف الإغريقي ديموقريطس في حوالي سنة ٤٠٠ ق.م. بأن كل شيء قد صنع من جسيمات لا مرئية لا تقبل الانقسام، تختلف في الشكل والحجم والوضع، ويمكن مزجها والتوفيق بينها لتنتج كل صنوف المادة. سمى ديمقريطس هذه الجسيمات بأنها ذرات atoms، وتعني بالإغريقية «غير القابلة للكسر» أو «غير القابلة للتجزئة». كان أرسطو من أعنف أعداء هذه النسخة المبكرة من النظرية الذرية، فهو مع كل ما كان عليه من ذكاء، كان له عادة من رفض البعض من أرقى الأفكار حقًّا. أصر أرسطو على أن العالَم يتكوّن، لا من جسيمات متميزة، وإنما من أربعة عناصر جوهرية أو خصائص — اليابسة والنار، والهواء والماء. لا شك أن أرسطو كان هكذا مشوشًا ويتشبث برأيه الخاطئ، إلا أنه لا يمكن إنكار أن خطته المثيرة ظلت هي المسيطرة لمئات السنين، ولا تزال لها قاعدة بحجم له قدره من المعجبين من أتباع التنجيم.

تشبه النماذج المبكرة للذرات منظوماتنا الشمسية، حيث النواة في المركز كالشمس بينما الإلكترونات تدور في مدار حولها كالكواكب. هناك تصوير مألوف آخر للذرة يمثلها كأيقونة على شكل جهاز قياس التنفس في خمسينيات القرن العشرين، حيث يوجد قرص مركزي تحيط به ثلاثة أو أربعة قطاعات إهليلجية مثل الشعار الرسمي لمدينة أركو في إيداهو التي تصف نفسها بفخر بأنها «أول مدينة في العالم تضاء بالطاقة الذرية» إلا

أن الذرة لا تشبه مطلقًا المنظومة الشمسية أو شعار تلك المدينة ذات الذوق الفني الهابط، ولا نستطيع حقًّا أن نقول ماذا تشبه، وذلك بالمعنى العادي البصري — المكاني للعبارة. ليس سبب ذلك هو مجرد أن الذرة خفية عن الرؤية بالعين بدون مساعدة، فالخلايا والبكتريا هي أيضًا «خفية»، ولكننا نستطيع أن نرى الخلية أو الميكروب أكمل رؤية بالميكروسكوب المناسب. مشكلة الذرات، كما وضحها لي بريان جرين، هي أنها صغيرة جدًّا بحيث إنها تقع في المنطقة الخطرة التي يحكمها مبدأ ويرنر هايزنبرج لعدم اليقين: عندما تراها إذ بها تنحرف بعيدًا عنك.

سألت دكتور جرين: «لو أمكننا أن ننفخ الذرة إلى حجم يكون مثلًا بوزن ورقة فوق منضدة قهوتك، ماذا سنرى؟» سألته ذلك رغم أني لاحظت أن منضدة قهوته تخلو من أي ورق يحتاج لوزنه.

«نرى؟» هكذا ردد الكلمة ببطء شديد حتى بدت وكأنها متعددة المقاطع. «ماذا سنرى؟ لست أحب أن أبدو هنا بنزعة كلينتونية،[4] ولكن الأمر يعتمد على تعريفك لكلمة نرى»

وقال مفسرًا: «عندما نتكلم عن رؤية الأشياء في عالم الحياة اليومية، فإننا نتحدث عن الضوء. أو نتحدث عن فوتونات الضوء، جسيمات الضوء، التي ترتطم بأعيننا وتتيح لنا أن نرى. أما عندما ننزل إلى مستوى مقياس الذرة فإن هذه الفوتونات يمكن أن تغير من طبيعة الشيء الذي نراه» ثم يقول جرين إن الإلكترونات التي تحيط بالذرة تستطيع أن تمتص وتبعث الفوتونات، وعندما تفعل ذلك، تتواثب هذه الإلكترونات فيما حولها، فتتغير من شكل الذرة. «إننا نتوق إلى تطبيق خبرة الرؤية في الحياة اليومية على الذرة الصغيرة الضئيلة، ولكننا حتى نفعل ذلك يتطلب الأمر أن نغير الذرة نفسها. نحن لا نستطيع أن نرى ما هنالك بالمعنى الحرفي للكلمة.»

وأقول له: «حسن، لننسَ الورقة وحجمها بالمعنى الحرفي. ما الذي لا يمكن مجازًا أن نراه حقًّا؟»

---

[4] الكلينتونية: نسبة إلى الرئيس الأمريكي بيل كلينتون، والمقصود نزعته للمخادعة أثناء التحقيق معه بشأن ممارسة الجنس مع الفتاة المتدربة في البيت الأبيض. (المترجم)

وأجاب: «سحابة. صورة سحابة إلكترونية هي الطريقة الصحيحة المعقولة للتفكير بهذا الصدد.» وسألته هل تكون هذه السحابة كأرنب بهلواني من الغبار لا تستطيع أبدًا أن تمسكه في كيس الغبار؟ أو بما يشبه تلك البقعة المعتمة في نشرة أخبار التليفزيون التي تستخدم عندما يلزم إخفاء هوية شخص يتحرك؟ ويرد جرين: حسن، شيء من هذا النوع. ولكن ليس بما يشبه سرب بعوض. ليس في شكل تجمع لأشياء كثيرة متميزة. صورة سحابة الإلكترون هي حقًّا وسيلة لتصوير توزيعات الاحتمال، كما يقول جرين: أنها صورة تخبرنا عن المكان الذي يحتمل أن توجد. فيه إلكترونات الذرة، وتعطينا إحساسًا بطريقة توزيع المواضع المحتملة للإلكترون.

حتى بالنسبة لأبسط الذرات، ذرة الهيدروجين، التي لديها إلكترون واحد فقط يئز حول البروتون الوحيد في نواتها، حتى هذا الإلكترون الوحيد عنده نقط كثيرة قد يوجد فيها، أماكن كثيرة كان موجودًا فيها وسيوجد ثانية، بحيث إن كل حدود ذرة الهيدروجين يمكن تصورها كسحابة ملأ ملعقة.

إلا أنه قبل أن يجرفنا سحر هذه الصورة الجميلة لخطة توزيع الإلكترون وكأنها تصفيف شعر سيدة من عصر ما قبل الرسام رافاييل، لا بد أن نتذكر أن أرسطو كان مخطئًا: فالمادة ليست حصاد خصائص تمتزج كلها معًا بلا خيط يربطها. الذرات قد تجذب إحداها الأخرى، بل كثيرًا ما تفعل ذلك. الذرات تشكل روابط، وذلك عادة بأن تتشارك في إلكترونات مخصصة لذلك في أقصى مدار للخارج بكل ذرة من الذرات المتشاركة. تؤدي المقايضة البارعة بين الإلكترونات عند تخومها إلى أن تتحد ذرتان من الهيدروجين وذرة واحدة من الأوكسجين لتشكل جزيئًا من الماء. إلا أن من المهم أن الذرات لا تندمج، أو لا تغزو إحداها ما في الأخرى من فضاء داخلي خاو يُعد نسبيًّا شاسعًا. تظل الذرات في كيانات متفردة، جسيمات متميزة تتكون من بروتونات ونيوترونات في النواة، ثم فضاء هائل أجوف، وبعدها غطاء سحابة من الإلكترونات موقعها بعيد وبعيد عن النواة. الفضاء الأجوف هو كقاعدة مكان مقدس. لا يحدث لسحابة الإلكترونات ولا للجسيمات النووية لإحدى الذرات أن تخترق الفراغ الداخلي لذرة أخرى لتتجول فيه،

أو ربما لتمشي جانبًا لتصل إلى النواة الأجنبية وتلوح لها محيية ثم تودعها لتعود إلى البيت ثانية. لا يمكن لذرتين أن تنسحقا وتندمجا معًا إلا في ظروف خارقة للمعتاد، كما يحدث مع فرن عالي الضغط كما في باطن النجم، وينتج عن ذلك تفاعل تتحد فيه النوى معًا لتشكل نوعًا جديدًا من ذرة أثقل، عنصرًا آخر أبعد في تدريج الجدول الدوري للعناصر، وهذا موضوع سنطرقه لاحقًا.

على أن الذرات تبقى معظم الوقت وهي تحافظ على استقلالها الذاتي وهويتها العرقية، بما في ذلك ما يحدث عندما تكون في علاقة جزيئية مستقرة مع ذرات أخرى. ذرات الهيدروجين والأوكسجين التي تملأ المحيطات كماء تظل في صميمها هيدروجين وأوكسجين ويمكن أن تُقتلع لتتحرر إحداها من الأخرى، وإن كان هذا سيتطلب طاقة لفسخ الروابط في جزئ الماء، أو أي جزئ آخر، حتى تُعزل مكوناته. إنها لفكرة مذهلة أن يكون كل ما في مسرح حياتنا من أوله إلى آخره، والهواء الحلو الذي نستنشقه، والماء الرطب الذي نشربه، ومقبات تخفيف السرعة التي نقب من فوقها، كلها تتكون من جسيمات متفردة جوفاء، تريليونات فوق كوينتليونات[5] من ذرات يملؤها الفراغ وتتقارب معًا، ولكنها لا تتقارب أبدًا بأكثر مما ينبغي. وكما قال فينمان الذرات ستتجاذب إذا كانت تنفصل بمسافة قليلة، ولكن إذا بدأنا في دفعها لتتقارب أكثر فسوف تندفع مرتدة إلى الوراء.

ما الذي يُبقى الذرات متفردة، وفي حاجة إجبارية ملحة لما فيها من «فضاء»؟ وإذا كانت معظم المادة خاوية، فما السبب إذن في أني أجلس هنا فوق كرسي مريح إلى حد معقول صنع من خشب الماهوجيني ولا يحدث بدلًا من ذلك أن أسقط غاطسة خلال الذرات الجوفاء للأثاث، والأرضية، وكوكب الأرض لأنضم إلى القومندان المسكين فرانك بول[6] وهو ينجرف في موته عبر الفراغ المخملي للفضاء الخارجي؟

---

[5] الكوينتليون عدد يساوى ١٠^١٨ أو مليار المليار. (المترجم)

[6] القومندان فرانك بول أحد شخصيات فيلم أوديسا الفضاء، وهو يموت أولًا في رحلة الفضاء ويُحتفظ بجسده ليدور في الفضاء، ثم يعاد للحياة ثانية. (المترجم)

تكمن الإجابة فيما يحدث من التصرفات المزاجية للجسيمات تحت الذرية — الأجزاء التي تتكون منها الذرة — وفي الحيل، والحيل المضادة، والحلول الوسط التي تظل هذه الجسيمات مشتركة فيها بلا كلل. النواة يوجد فيها مقاتلو الوزن الثقيل، البروتونات والنيوترونات، وهذه توصلت إلى أن تشكل ما هو أكثر من ٩٩,٩ في المائة من كتلة الذرة في حين أنها تشغل فحسب جزءًا من التريليون من حجمها. الذرات بالطبع لا تتماثل كلها. يرتعش عالمنا ويومض بما فيه من ذرات الذهب، والفضة، والبزموت، والبلاتين، والرصاص، والصوديوم، والزئبق، والإنديوم، والأيريديوم، والزينون، والكربون، والسليكون، وبعض آخر يقرب من مائة من الأجزاء الأساسية للوجود نسميها العناصر. العناصر مواد لا تقبل الاختزال إلى مواد أبسط عن طريق الوسائل الطبيعية الكيميائية أو الميكانيكية. إذا كان لدينا عينة من رصاص نقي، فسنتمكن من أن نكسرها إلى أجزاء من الرصاص أو أن نصهرها إلى كتل أصغر من الرصاص، إلا أن كل قطعة من هذه ستظل مكونة من ذرات الرصاص وليس من ذرات ذهب قد تكون مما تشتهيها أو ذرات أسترنتيوم ربما لا نشتهيها إلا إذا كنا نشتغل بتكنولوجيا الألعاب النارية ونقدر ما للأسترونتيوم من قابلية للاشتعال. وفي حين أن الذرات المختلفة لها تقريبًا الحجم نفسه — عرضها عُشر جزء من البليون من المتر — إلا أنها تتباين في كتلتها، أي في عدد البروتونات والنيوترونات التي تحتشد في نواتها. الهيدروجين أخف العناصر وأكثرها انتشارًا لأبعد حد في الكون، والهيدروجين له نواة صغيرة إلى أقصى حد من الصغر، تتكون من بروتون وحيد؛ إلا أن هذه الذرة لها مغايرات، يخصص لها اسم لا إطراء فيه هو «الهيدروجين الثقيل»، ولديه نيوترون واحد أو حتى نيوترونان إضافة للنيوترون الأصلي الوحيد. هناك كثير من العناصر المألوفة أكثر لديها إلى حد بعيد العدد نفسه من البروتونات والنيوترونات في مركزها: الكربون الذي يشبه كرتونة للبيض، فيحوي ست بيضات من نوع وستًّا من نوع آخر؛ والنيتروجين الذي يشبه كوكتيل الستينيات من القرن العشرين ويحوي سبعة إلى

سبعة؛ والأوكسجين لحن الأوكتافات[٧] الثُّمانية المزدوجة من البروتونات والنيوترونات.

على أنه حتى هذه العناصر يمكن أن توجد في نسخ متضخمة لنفسها، تسمى النظائر، فيها مجاملات من نيوترونات إضافية تضاف إلى الكتلة. الكربون مثلًا يوجد له نظير بثمانية نيوترونات، وهو غير مستقر إلى حد بعيد حتى إنه كما يمكن التنبؤ به، ينزع إلى طرح حمولة النيوترون الثامن، وهي نزعة يستغلها علماء الآثار والباليونتولوجيا، فيقيسون معدل قذف هذا النيوترون، أو معدل هذا الاضمحلال، كنوع من آلة ساعة تفيدهم في تأريخ عمر الكنوز العتيقة المدفونة، سواء أكانت إحدى الأسنان المسوسة لملك من عهد ما قبل التاريخ له مزاج واضح لأكل الحلوى، أم عظام حيوان نحتت في شكل أول أدوات للأسنان، أم البقايا المتفحمة لأول طبيب أسنان.

نجد في نوى العناصر الأثقل أن النيوترونات عادة تفوق البروتونات عددًا وأحيانًا يكون ذلك بكمية لها قدرها. وكمثل فإن الزئبق فيه ٨٠ بروتونًا، ويزيد عدد النيوترونات في هذا المعدن الزلق بنسبة ١,٥ إلى ١ ليصل إلى ١٢٠ نيوترونًا. إلا أن البروتونات تنال تعويضًا أكبر عن وضعها كأقلية بما لديها من حس لا يتزعزع بجدارتها بذاتها. ذلك أنه بينما قد يكون لأي نوع من الذرات عدد قليل من نيوترونات أكثر أو أقل دون أن تفقد هويتها الأساسية، إلا أن تعداد البروتونات أمر لا يقبل المساومة، فهو أكثر عنصر أساسي لأي عنصر. عدد ما تحويه الذرة من البروتونات، والبروتونات وحدها، هو الذي يميز نوع الذرة، ويميز أحد العناصر من الآخر ومن ثم يستخدم باسم العدد الذري الرسمي للعنصر. يحوي الذهب ٧٩ بروتونًا في نواته، ومن ثم يعطَى له الرقم الذري ٧٩؛ في حين أننا نجد البلاتين عند رقم ٧٨، والبلاتين مع كل ما فيه من ١١٧ من النيوترونات، يكون مجازًا في حالة خجل لنقصه بروتونًا واحدًا ليكون ممتازًا كالذهب.

[٧] الأوكتاف في الموسيقي نغمة الجواب التي تزيد أو تنقص عن نغمة أخرى بثمان نغمات. (المترجم)

إذن فما الذي يكفل للبروتونات مكانتها المتميزة؟ إذا كانت البروتونات والنيوترونات في نسب متماثلة، وتتساوى في مسئوليتها عن خشونة زهيرة البروكلي أو قدرة بالونة ابنتك على الطفو، لماذا يكون عدد البروتونات وحدها هو الذي يفصل السيلنيوم، بعدده الذري ٣٤، والذي يعد مادة غذائية أساسية تفيد في تحويل الدهنيات والبروتين إلى طاقة، يفصله عن الزرنيخ بعدده الذري ٣٣، وهو مادة سامة بدرجة كبيرة تستخدم لقتل الجرذان والأعشاب وأحيانًا لقتل إمبراطور روماني؟

الإجابة هي الشحنة الكهربائية: البروتون لديه شحنة كهربائية، بينما النيوترون ليس لديه هذه الشحنة. النيوترون اسم على مسمى، فهو جسيم متعادل[٨] كهربائيًّا، وإذا حدث للنيوترون أن طلب شرابًا في حانة، كما تقول فكاهة أخرى من معهد «ممت»، ثم سأل عن الثمن المطلوب منه لما شربه، فسيجيبه نادل الحانة: «بالنسبة لك بلا ثمن (بلا شحنة)[٩].» البروتون، حسب مصطلح غريب حقًّا يعود إلى بنيامين فرانكلين وطائرته الورقية، يقال عنه إنه جسيم مشحون إيجابيًّا، في حين أن جسيم الذرة الآخر المشحون كهربائيًّا، وهو الإلكترون، يقال عنه إنه مشحون سلبيًّا، مصطلحا الإيجابي والسلبي ليسا بدعاوى فيها حكم — ليسا انعكاسًا لتفضيل الفيزيائيين لأحد الجسيمين على الآخر، أو لقدرة البروتون على تحسين قيم الممتلكات بينما يترك الإلكترون أجزاء العربات القديمة منثورة في حديقة المنزل. كان من الممكن جدًّا أن تُستخدم الألفاظ عكسيًّا، ويوصف البروتون بأنه مشحون سلبيًّا ويعلن أن الإلكترون مشحون إيجابيًّا، ولكن هذا لم يحدث، ومن ثم دعنا لا نفعل ذلك. المهم هو أن شحنة أحدهما توازن تأثير شحنة الآخر. قد يكون الإلكترون أخف من البروتون بأكثر من ألف مرة، ولكن شحنته لها القدرة تمامًا على أن تكون ندًّا للعملاق النووي. وهو بالفعل ند له، ذلك أن البروتونات والإلكترونات يجذب أحدها الآخر، تمامًا مثلما يقال في الأساطير إن الأضداد تفعل في العالم الذي يرى بالعين المجردة،

[٨] النيوترون اسم مشتق من الكلمة الانجليزية التي تعني متعادل (Neutral). (المترجم)
[٩] الفكاهة هنا أن كلمة Charge بالإنجليزية تعني «الشحنة» وتعني أيضا «الثمن». (المترجم)

وإن كان ما يحدث في حالة ذلك المجتمع أن هذا التفاعل كثيرًا ما ينتهي بأن يتطلب تدخل وحدات أخرى ترى بالعين المجردة تعرف باسم محامي الطلاق.

ولكن ماذا تكون بالضبط هذه الشحنة تحت الذرية، هذه الشحنة الموجبة للبروتون التي تجذب حسب مبدأ العين بالعين، الشحنة السالبة للإلكترون؟ عندما تتحدث عن بطارية مشحونة شحنًا كاملًا فأنت فيما يحتمل تتصور في عقلك بطارية مملوءة بمصدر مختزن للطاقة يمكنك أن تزلقها داخل حجيرة كاميرتك الرقمية لالتقاط الكثير من صور الزهور المقربة المثيرة. أما عندما نقول إن البروتون والنيوترون جسيمان مشحونان بينما النيوترون خالٍ من الشحنة، فإن هذا لا يعني أن البروتون والنيوترون بطاريات صغيرة للطاقة عند المقارنة بالنيوترون. شحنة الجسيم ليست مقياسًا لما يحويه من الطاقة. وبدلًا من ذلك فإن تعريف الشحنة هنا تعريف غير مباشر تقريبًا. يُعتبر الجسيم مشحونًا بسبب ما له من قدرة على التجاذب أو التنافر مع الجسيمات المشحونة الأخرى. يقول راما مورتي شانكر: «الشحنة موقف، إنها ليست في حد ذاتها بأي شيء. إنها مثل القول بأن شخصًا له كاريزما أو جاذبية شخصية.»

هناك طريقة أخرى لتعريف الكاريزما وهي أنها «قوة الشخصية»، وهذا يأتي بنا إلى السبب في أن الجسيمات المشحونة تتفاعل مع الجسيمات المشحونة الأخرى. فهي هكذا تذعن لقوانين الكهرومغناطيسية، إحدى «القوى» الأربع الرئيسية في الطبيعة. ربما تكون قد سمعتَ عن هذه القوى الأربع الأساسية، وربما تعرفها بالاسم: الكهرومغناطيسية، والجاذبية، والقوة القوية، والقوة الضعيفة. ولكن كلمة «القوة»، مثلها مثل كلمة «الشحنة»، هي إحدى الكلمات التي تظهر كثيرًا في أحاديثنا اليومية ويبدو معناها على نحو خادع وكأنه واضح في حد ذاته، ونادرًا ما تُفسَّر في سياق من الوضع الأساسي. ما الذي يميز قوة أساسية في الطبيعة عن قوى الصراع المألوفة المخيفة في الطبيعة، مثل الأعاصير، والزلازل وتصفيفة شعر رجل الأعمال دونالد ترمب وهل هو شعر أصلي أم باروكة؟

أحسن طريقة للتفكير في القوة الأساسية هي على أنها تفاعل أساسي، علاقة بين قطعتين من المادة. في النهاية يتضح أنه توجد فقط أربع طرق معروفة يمكن بها لقطعة من المادة أن تتواصل مع قطعة أخرى، أربع طرائق للتناول لإدراك وجود جسم آخر غير جسم المرء الخاص به. يختلف كل تفاعل من هذه الأربعة في قوته ومداه، ويعمل حسب مجموعة متمايزة من القواعد، ويؤدي إلى نتائج متمايزة. إلا أنها لا تستبعد إحداها الأخرى استبعادًا متبادلًا لتكون كل منها حصرية. وعلى سبيل المثال فإن كل الأجسام مهما كانت ضئيلة تتجاذب. وسواء كانت الكتل مشحونة أو متعادلة، تدور أو ساكنة، فإن الكتل تشق طريقها عبر قوى الجاذبية العالمية. ومن عجب أن الجاذبية هي إلى حد بعيد أضعف القوى الأربع الأساسية، وإن كان هذا أمرًا يصعب عليك أن تصدقه لو أنك حاولت بأي حال أن تضع فوق جسمك مجموعة من أجنحة زائفة ثم تخفق ذراعيك وأنت تقفز من فوق سطح بيتك. الجاذبية لا يُحَس بتأثيرها إلا عندما يكون في قطع كبيرة نسبيًّا من المادة، مثل النجوم، والكواكب، ومخبولي الرأس الذين يقفزون من أعلى الأسطح.

من الناحية الأخرى، إذا أخذت جسيمين اثنين مشحونين كهربائيًّا، فمن المؤكد أنهما يتجاذبان. ولكن حيث إنهما مشحونان فإنهما يكونان أيضًا تحت تأثير القوة الكهرومغناطيسية، وهذه تبلغ قدرًا، واهًا له، يزيد بما يقرب من 10^{40} مِثْل لقوة الجاذبية، أو بما يزيد عن تريليون تريليون تريليون مِثْل. واعتمادًا على ما إذا كانت الجسيمات بشحنة مضادة أو متماثلة، فإن القوة الكهرومغناطيسية ستشد الجسيمات متقاربة أو تدفعها متباعدة، ولتحل اللعنة على الجاذبية.

درجة القياس والسياق هما اللذان يفرضان دائمًا أي قوة ستكون معك. وكمثال لذلك، فإن القوى القوية هي بأحد المعاني جديرة باسمها الذي تتيه به، ذلك أنها أقوى قوى ربط معروفة في الكون، وهي أقوى بأكثر من مائة مرة من الكهرومغناطيسية. حسب قواعد تشغيلها فإنها تُبقي على البروتونات والنيوترونات ملتصقة معًا في النواة، وقد تغلبت على التنافر الكهرومغناطيسي، الذي لولا ذلك لأدى إلى أن تنطلق كل تلك

البروتونات الموجبة الشحنة هاربة من بعضها. ولكن القوة القوية تعمل فقط عبر مسافات قصيرة جدًّا بما يضحك وذلك فيما بين جسيمات النواة ومن داخلها. أما القوة الضعيفة التي تحفز على اضمحلال النيوترون والتي تمثل القوى المهتاجة الظلامية في رباعي القوى، فإن مدى مفعولها مقيد أيضًا بأبعاد النواة.

يطرح الفيزيائيون أن القوى الأربع هي في الحقيقة مظاهر لقوة فائقة أساسية وحيدة، وأنه عندما كان كوننا صغير السن، وراسخًا، وساخنًا، كانت القوى تسلك كقوة واحدة أيضًا، إلا أنه مع ما يتحتم من زيادة العمر والابتراد وانتشار الكون حدث فعلًا أن تكسرت القوة الوحيدة إلى أربع قوى منفصلة. يسعى العلماء إلى توحيد القوى الأربع في معادلة واحدة، نظرية موحدة كبرى محكمة بما يكفي لأن تتلاءم مع أحد قمصان الـ«تي شيرت» الخرقاء الواسعة من الحجم البالغ الكبر بياقتها البالغة الارتفاع بحيث لا يريد أحد أن يرتديها، وذلك في محاولة لاكتشاف العامل المشترك الأوّلي الكامن في الأساس من التعددية الحالية.

سواء أنجح العلماء أم لم ينجحوا في متابعتهم هكذا لدراسة الرياضيات للوصول إلى المجد، فإننا نظل نعيش في عالم من أربع قوى رئيسية، أربع وسائل متمايزة لتواصل المادة بالمادة؛ وأيًّا كان ما يحدث من مفاوضات بين الجسيمات، والكائنات الحية التي بُنيت من هذه الجسيمات، فإنها كلها تحدث من خلال واحدة أو أكثر من هذه القوى الأربع. عندما نقذف كرة في الهواء، فإنها وهي تتخذ طريقها إلى أعلى وأسفل، تستجيب لإغواء الجاذبية. ولكن ماذا عن القوة التي أرسلت هذه الكرة لتطير في الهواء في المقام الأول؟ يطبق الرامي على الكرة قوة بالمعنى الكلاسيكي النيوتوني للكلمة، بمعنى أنه يثني عضلاته ويكون السبب في أن جسمًا ساكنًا يبدأ في الحركة. ولكن ما هي القوة الأساسية التي تمكنت بواسطتها جسيمات يدك من أن توصل رسالتها إلى جسيمات الكرة؟ قد تكون من أبطال لعبة البيسبول مثل تاي كوب، أو بيت روز، أو دافيد ويلز بقميصه الواسع بلا جدال، ولكن بكل أسف ليست القوة القوية هي التي تفعل ذلك.

حتى نعرف مصدر رميتنا الرياضية، ومصدر الطرائق الأخرى الكثيرة التي نقبض بها على أحداث يومنا ونقدر أحجام ما يحدث فيه بكل حواسنا الخمس، يجب أن ننظر ثانية في معمار بناء الذرة، وما فيه من أوجه محبة وصد وقيود تجعله يظل قائمًا.

الإلكترون الذي يحمل علامة السالب في وشم على جبهته يجد أن البروتون الموجب فيه جاذبية رهيبة له، ويود أن يقضي وقته في مكان ما بالقرب من أحد البروتونات. إلا أن الإلكترون أيضًا يتحرك في دوران مستمر، وينبغي أن نكون ممتنين أبلغ الامتنان لنشاطه هذا. قد تظن أن هذه الجسيمات ذات الشحنات المضادة سوف يقع أحدها بين ذراعي الآخر، وأن الإلكترون وقد فتنه السحر المنبثق من النواة بمثل توقد سحر الممثلة جريس كيلي، سوف يغوص ببساطة تجاه البروتون ولا يتوقف حتى يصل إلى وجهته. وقد تظن أن الذرات كلها سوف تنهار في مثل فرقعة غلاف فقاعة، ويضيع معها كل واحد منا نحن الذين نشكل حزمًا ثمينة لها. ولكن هذا لا يحدث، توجد كمية حركة هائلة في الإلكترون تدفع به في مدار حول النواة، وتبقيه على مسافة منها في حركة طيران نشطة مستمرة، تمامًا مثلما تضمن كمية الحركة الزاوية للكواكب أنها تظل تدور حول الشمس التي تنجذب الكواكب إليها، وتظل الكواكب في دورانها بدلًا من أن تغوص في أعماق الشمس النارية مثل حبات الذرة في موقد ذرة مشتعل. لا تستطيع الإلكترونات قط أن تتوقف لالتقاط أنفاسها. أحد أسباب ذلك أنها ليس لها رئة. والسبب الآخر أنه لو توقفت الإلكترونات فعلًا عن الحركة فسوف نتمكن من أن نعرف في الوقت نفسه أين كانت توجد الجسيمات وسرعة ما كانت عليه حركتها، أو الأحرى ما لم تكن عليه. قال هايزنبرج بلغة ليس فيها أي عدم يقين إننا لا نستطيع أن نعرف في الوقت نفسه هذين التفصيلين عن الإلكترون: موضعه، وسرعته؛ وإذن اللعنة! لن ننال أي شيء، إلا شرطة. تختلف سرعة الإلكترون حسب درجة استثارة الجسيمات: يمكننا في المعمل أن ندفع بها تجاه سرعة تقارب سرعة الضوء، ولكن حتى في الأيام العادية التي تمضيها الإلكترونات في سحابة حول الذرة تكون سرعتها قريبة من

١٣٧٠ من الأميال لكل ثانية — سرعة تكفي للدوران حول الأرض في ١٨ ثانية.

على أن معدل سرعة الإلكترون ليس هو العامل المحدد الوحيد لتشكيل صورة الذرة. وعلاقة الحركة بين البروتون والإلكترون تخضع لإشراف وطقوس قوية كما كان يحدث في كل علاقات ما قبل الحرب. لا تستطيع الإلكترونات أن تتنقل من مكان إلى آخر كما تشاء، ولكنها محددة بالحركة في مناطق مخصصة، أو قشور، توجد حول البروتونات التي تنجذب إليها. القشرات مرتبة في صفوف الواحدة داخل الأخرى، وتستطيع كل منها أن تؤوي عددًا معينًا من الإلكترونات. القشرة الأقرب إلى النواة فيها متسع لإلكترونين لا غير، والنطاقان التاليان فيهما مكان لثمانية جسيمات سالبة لكل نطاق واحد، بينما تلك الأكثر بعدًا تستطيع تحمل ثمانية عشر إلكترونًا أو أكثر. بمجرد امتلاء إحدى القشرات، فإن أحدًا لن يستطيع أن يشق طريقًا للدخول ولو بأنفه، حتى لو كان رئيس الولايات المتحدة وسحابته المحيطة به من العربات المجهزة للركوب والنقل، الإلكترون أيضًا لا يستطيع التنقل بين القشرات، تمامًا مثلما لا نستطيع الوقوف بين درجتين من درجات السلم. إلا أن الإلكترون يستطيع أن يتحول من طريق فرعي إلى آخر، بافتراض أن هناك متسعًا لذلك. أحيانًا عندما يعصف شعاع ضوء بإحدى الذرات، قد يستثار عدد قليل من إلكتروناتها وتثب إلى أماكن خالية في القشور الأبعد عن النواة. ولكن «القفز» بطريقة الانعطاف الحاد على المستوى الذري التحتي والثقافي التحتي عند الأساس من كل الوجود، لا يعني «التواثب في حركة مستمرة من هنا إلى هناك»؛ فهو يعني الاختفاء مؤقتًا من القشرة التي كنت فيها لأظهر فجأة في القشرة التي من فوقي. هذه المناورة التي تماثل مناورات الساحر هوديني هي ما تشتهر باسم «الوثبة الكمية، لأن الإلكترون ينتقل من إحدى القشرات المسموح بها، أو أحد مستويات الطاقة، أو الكمية، إلى المستوى التالي دون أن يحاول أن يمر مخترقًا من خلال الحواجز الخرسانية ما بين مسارات المرور. تعبير «الوثبة الكمية» وجد طريقة منذ زمن طويل إلى اللغة الشعبية، وهو عادة

يعني شيئًا مثل «تغيير كبير حقًّا»، أو «وثبة كبرى للأمام»، وعلى الرغم من أن بعض الناس يتذمرون من أن هذا فيه إساءة استخدام للغة لأن المسافة بين قشرات الإلكترونات صغيرة جدًّا إلى حد التلاشي، فإنني أقول إن هذا النقد في غير موضعه. بصرف النظر عن الكمية، فإن الوثبة الكمومية الأصلية هي أمر رائع من حيث الكيف، نوع من «فتنة الألباب» دون وجود لزوج لا يطاق. حاجة الذرة للإلكترونات، ومن ثم حاجتها إلى عدد القشرات التي تحيط بها، أمر ينبثق من بروتوناتها. وبالصدفة، فإن الذرة تشبه بلاد سويسرا؛ فهي تؤثر أن تتخذ موقفًا محايدًا أو متعادلًا كلما أمكن. يتطلب هذا الإيثار أن يكون كل بروتون من بروتوناتها، تلك المكونات المهيبة للنواة ذات الوزن الثقيل نسبيًّا، والمشحونة كهربائيًّا، يكون كل واحد منها مقرونًا بإلكترون. ذرة الذهب لها ٧٩ بروتونًا وتتطلب ٧٩ إلكترونًا لتصل إلى وضعها المفضل من التعادل. إذن، فإن ذرة الذهب تكون كوحش حجمه مائة جزء من مليون من السنتيمتر، بأسنان ناتئة، ويحوي نواة من ٧٩ بروتونًا و١١٨ نيوترونًا، ثم هناك بعيدًا بعيدًا عن القلب الممتاز الكثيف توجد ٦ قشور سحابية، ٦ مسارات محتملة ليدور فيها ٧٩ إلكترونًا.

إلا أن ذرة الذهب مع كل ما فيها من تعقيد — مثل باقي الذرات — وبكل ما فيها من معرض دوار للجسيمات، ذرة مجوفة، تكاد تكون لا شيء، فهي أكثر خواء من برميل جعة بجمعية أخوية صباح يوم الأحد. لدي على إصبعيَّ خاتمان ذهبيان — أحدهما خاتم الزواج، والآخر هدية من زوجي بمناسبة ميلاد ابنتي. لماذا إذن أشعر مطمئنة واثقة بأن هذين الخاتمين هما دائرتان صلبتان، نحيلتان، ناعمتان. لا أخلعهما أبدًا، ومع ذلك فإنهما على نحو ملموس، وكذلك على نحو رمزي، ليسا أنا؟ أحيانًا يحدث في الشتاء أن تنكمش أصابعي بما يكفي لأن ينزلق الخاتمان في تهديد بأن ينسلا مباشرة من فوق مفاصل الإصبع ليهبطا في الحوض. ولكن أيًّا من الخاتمين لا يُظهر أبدًا بوضوح أدنى ميل لأن يهوي مباشرة من خلال قطر إصبعي كما يهوي سكين ساخن خلال الزبدة، مهما كان ما تتصف به ذرات إصبعي وذرات الخاتم من أنها جوفاء. إذن فما هو الذي يمنح، أو بالأحرى ما هو الذي يمنع؟

الإجابة ببساطة هي الشحنة، وهي هذه المرة شحنة الإلكترون. كل النوى الذرية تحاط بسحب من إلكترونات سالبة الشحنة؛ والشحنات المتماثلة تتنافر. القوة الكهرومغناطيسية لا تسبقها أي قوة في تأثيرها إلا القوة القوية، ومن ثم فإن التنافر يكون شديدًا. يقول شانكر: «الإلكترونات لا تحب أن تكون معها إلكترونات أخرى. الذرات تبقى على مسافات مريحة تبتعد بها إحداها عن الأخرى بسبب إلكتروناتها. القوى الكهرومغناطيسية هي في الحقيقة القوة التي تحفظنا من أن نهوي من خلال الأرضية.»

كما سنرى في الفصل التالي تفسر لنا الكيمياء السبب في أن ذرات أصابعنا أو ذرات قطعة من الخشب تتمكن من أن تبقى معًا وتحافظ على المظهر الخارجي للصلابة. يقول بريان جرين إنه مع ذلك: «لو أنك استطعت أن تتخيل أنك تقرب عدسة التصوير بشدة لرؤية أصابعك وهي تتفاعل مع الذرات في هذا المنضدة أو هذا الكرسي» — وأخذ يلمس قطع الأثاث كل في دورها وقال — «فسوف ترى إلكتروناتها الخارجية وهي تتنافر أحدها مع الآخر بواسطة القوة الكهرومغناطيسية. في كل وقت تلمس شيئًا أو تشعر به، تكون القوة التي تعمل هي الكهرومغناطيسية.»

ثم يضيف جرين: «الحقيقة أن القوة الكهرومغناطيسية تحكم كل حواسنا.» الرؤية: الأمواج الكهرومغناطيسية التي نسميها بأمواج الضوء تنقل رسالتها بالتفاعل مع الإلكترونات في ذرات شبكيتنا. السمع: ذرات الهواء تضغط على ذرات قناتنا السمعية، ويترتب على ذلك مناوشات تصادم بين الإلكترونات يفسرها المخ كسوناتا لباخ بالعزف على بوق الأبوا أو أوتار الهاربسيكورد.[١٠] التذوق والرائحة: تسدد ذرات الطعام إلكتروناتها على ذرات حلمات التذوق فوق لساننا وعلى المستقبلات الشمية في أنفنا، وتُستثار هكذا أنماط خاصة من مستقبلات التذوق والشم لتعطي المعلومات للمخ، هذا دجاج مقلي. عجبًا، لم أنل شيئًا من ذلك منذ الليلة الماضية.

[١٠] الهاربسيكورد آلة وترية لها لوحة مفاتيح، وتُنقر الأوتار بريشة أو أداة جلدية كالريشة وتطورت هذه الآلة فيما بعد إلى البيانو. (المترجم)

الإلكترونات، تلك النقاط الضئيلة العصبية والتي لا تتجاوز كتلتها العُشر من الواحد في المائة من كتلة الذرة، هي التي تتيح لنا أن ندرك ونحتضن العالم من حولنا، حتى وإن كانت البروتونات والنيوترونات تشكل معظم كتلة المادة في أجسادنا أو في الأرضية من تحت أقدامنا، وفي مواد التنجيد الملوثة فوق مقعدنا، وبقايا الطعام المتخلفة التي نوشك أن نأكلها. حتى نضع ذلك في صيغة أخرى، فإن التعارض الفطري للإلكترونات أحدها إزاء الآخر هو ما يحمينا من الفراغ الأساسي في كل كيان، والذي يتيح للبروتونات والنيوترونات أن تنتفخ بكبرياء وتلعب دور أصحاب المنزلة الرفيعة، أفضل كل شيء. كيف لها أن تدرك أنك عندما تنظر إلى منضدة أو أي شيء آخر، فإنك لا ترى تلك الجسيمات النووية الفخمة، وإنما ترى الضوء الذي يرتد واثبًا من القناع الإلكتروني الذي تتزين به كل ذرة.

علينا إذن أن نضع في الاعتبار أنه في حين أن قوة الجاذبية قد تبقي أقدامنا فوق الأرض وتبقي الكواكب وهي تتزلج حول الشمس، فإن عداء الإلكترونات هو ما يجعل رحلتنا جديرة بالاهتمام.

أحس بكرهي للشتاء وكل صندوق طاقمه الجراحي: مشرط البرد، الرياح في عملها كأداة المبعدة التي تبقي الجرح مفتوح الجانبين أثناء الجراحة، وشدة الرطوبة التي تعمل كأداة البزل في الجراحة. كم أكره الثلج، سواء كان رقيقًا طاهرًا كالعذارى أو غليظًا ملوثًا كالمبولة. كذلك أكره الخطب التي لا مفر منها عن كيف أنك تفقد ٣٠ أو ٥٠ أو ٢٠٠ في المائة من حرارة جسمك من خلال رأسك، وذلك لأني فوق كل شيء أكره قبعات الشتاء وأرفض أن أرتدي أيًّا منها. ماذا يحدث مع القبعة؟ عندما تخلعها يثب نصف شعرك لأعلى ويتحرك متموجًا مثل أهداب البراميسيوم الحيوان الوحيد الخلية، في حين يبقى النصف الآخر مسطحًا على جمجمتك وكأنه مصفح في مكانه.

انتهى القسم السابق بإطراء على عداء الإلكترون، ويبدأ هذا الجزء بانزعاج من حركة الإلكترون، مصدر ما يسمى في تناقض، وبشيء من عدم الدقة؛ بالكهرباء الاستاتيكية (الساكنة). إلا أن هذا الانزعاج لا يمكنه أن

يستمر طويلًا، لأني أحب نزعة التنقل في المستويات دون الذرية، عندما لا تهدر الوقت في التسبب في انتصاب شعر الحصان أو التصاق التنورات بالجوارب، ولكن بدلًا من ذلك تجعل نفسها مفيدة في تحميص الخبز دائري الشكل أو تشغيل الخلاط، أو بهذا الصدد في جعل خلايا المخ تعمل أو خلايا العضلات تنقبض أو تنبسط. بل وخمن أيضًا ما وراء الضغط على أحد أزرار الكهرباء، الأمر الذي نعتبره في الغرب مسلمًا به ونعتمد عليه بشدة حتى إن فترات انقطاع الكهرباء الطويلة تكلفنا البلايين فيما يهدر من أعمال؟ إنه الإلكترون، الذي اتخذ اسمه من كلمة إغريقية تعني «الكهرمان»، وهو القطرات المتحجرة من نسغ الأشجار، وهو حسب ما تقوله الأساطير الإغريقية دموع الآلهة التي جففتها الشمس، والذي، حسب الخبرة الإغريقية، يُشحن بسهولة عند الحك بقطعة قماش.

الإلكترونات ضئيلة للغاية. والإلكترونات لها كتلة، ولكن مقدار هذه الكتلة بالغ في التواضع حتى إنها أحيانًا تسلك تقريبًا كفوتونات، تلك الجسيمات التي لا كتلة لها والتي تحمل الضوء. إضافة إلى أن الإلكترونات—في حدود ما نعرفه — جسيمات أولية، بمعنى أنه لا يمكن تحليلها إلى جسيمات صحيحة أصغر حجمًا. يستطيع العلماء أن يحطموا جسيمات النواة، البروتونات والنيوترونات، إلى أجزاء تحت نووية صحيحة وأصغر حجمًا هي ما تسمى بالكواركات. ولكن مهما صدم العلماء الإلكترونات بعنف أو حاولوا تفتيتها في الظروف الوحشية لمعجلات جسيمات الطاقة العالية، فإنهم لا يجدون داخلها أي مكونات تحت إلكترونية.

الإلكترونات لها تكامل داخلي، أما الولاء للذرة فهذا أمر آخر. بالنسبة للإلكترونات، يكون أي بروتون جيد كالذي يليه، وعلى الرغم من أن التجاذب بين الجسيمات ذات الشحنة السالبة وتلك الموجبة هو تجاذب قوي إلى درجة معقولة، إلا أنه يكون أيضًا في بعض الحالات ارتباطًا ضعيفًا يسهل فصمه بما يذهل. عندما تسحب مشطًا خلال شعرك الجاف، سوف ينزع ملايين الإلكترونات من القشرات التي في أقصى الخارج من ذرات شعرك المصفف. يغدو المشط الآن مليئًا بإلكترونات إضافية، ومن ثم يصير أداة مشحونة

بشحنة سالبة. إذا أمسكت الآن بالمشط بالقرب من قصاصات قليلة من ورق صغير، سينتاب القصاصات بعض التردد للحظة، ثم تقفز إلى أعلى لتلتصق بأسنان المشط. هذا الفعل من الارتفاع في الهواء فيه دليل على تجوال الإلكترونات. أثناء فترة التردد في أول الأمر، تكون إلكترونات كثيرة على سطح قصاصات الورق قد تنافرت مع جرعة الإلكترونات التي قُدمت لها فوق المشط المشحون بشحنة سالبة، لتقفز الإلكترونات جانبًا، إما تجاه أحرف قطع الورق، أو بعيدًا تمامًا عن القصاصات. ونتيجة لذلك تجد ذرات سطح قطع الورق نفسها فجأة في حالة من نقص في الإلكترونات؛ وهل هناك طريقة لحل هذه الأزمة أفضل من أن تقفز تجاه الكمية المفرطة من جسيمات الشحنة السالبة التي تشير إليها من فوق أسنان المشط؟ نعم، نفس أداة التنظيم والإعداد ذاتها التي دفعت الورق في أول الأمر إلى حالة من الإيجابية. يشبه ذلك رأسمالية متعهدي المشروعات. فلننسَ فكرة وجود طلب فعلًا من أحد المستهلكين ينبغي الإيفاء به؛ هيا ننطلق، لنبدأ من الصفر بالحفر لاستخراج احتياج جديد.

حيلة «قبعة الشتاء» فيها توليف من تفاعلات تنافرية وتجاذبات ارتدادية تختلف قليلًا عما سبق. لماذا يبرز بعض الشعر إلى أعلى وللخارج عندما تخلع قلنسوتك الصوفية؟ عندما تُبعد الصوف عن رأسك فإنه يكشط الإلكترونات من الطبقات الخارجية لشعرك، محولًا كل جديلة إلى شيء موجب الشحنة مُستنزَف الإلكترونات. الموجب يتنافر مع الموجب بالضبط كما يتنافر السالب مع السالب، وهكذا تحاول جدائل الشعر أن تبتعد عن بعضها قدر الإمكان. في الوقت نفسه فإن خيوط الشعر الموجبة الشحنة الأقرب إلى فروة رأسك ووجهك تغدو ذات جاذبية غير عادية للإلكترونات في جلدك، وتشد الجدائل للداخل لتقترب من الإلكترونات قربًا كافيًا لأن تتواثب الإلكترونات كما في لعبة الحجلة لتكون بين جلد الرأس وجدائل الشعر.

من المهم هنا أن نذكر أن الذرات المشحونة تسعى إلى أن تملأ قشرات المدارات الخالية أو إلى أن تنضو عنها الإلكترونات الزائدة وتعيدها إلى نغمة الحياد أو التعادل السويسري؛ وهذا ما تفعله أيضًا — بحكم

الضرورة — الأشياء التي تنجذب إليها الجسيمات الساخطة. بعض المواد تكون أكثر قابلية من غيرها للمساعدة في تخفيف ما يحدث للمرء من عدم توازن في الشحنات الكهربائية، وهذه براعة تتطلب عادة قدرة تحمل كبيرة للإلكترونات، وهي أكثر الجسيمات الدقيقة قدرة على التجمع. معدن مقبض الباب أفضل مهجر للإلكترونات، وكأنه بالنسبة لها كجزيرة إيليس بالنسبة للمهاجرين في مدخل نيويورك، والسبب هو أنه عندما ترتب ذرات المعدن نفسها كجزيئات، فإنه كثيرًا ما تكون الإلكترونات في قشرات مدارها الخارجية غير مربوطة بإحكام ولها الحرية في أن تطوف هنا وهناك من معدن إلى آخر. المشاركة بين الإلكترونات المتجاورة تميل إلى تقوية الروابط بين الذرات، بما يضفي على المعادن صلابتها الأسطورية ونفعها تاريخيًّا لصنع أدوات مهنة الحرب. وجود حركة عنيفة مطردة لإلكترونات المعادن يعنى أيضًا أن هناك دائمًا ثغرات موجودة، وهي مناطق من الشحنة الموجبة تنجذب إليها التدفقات الخارجة من الإلكترونات. وباختصار فإن المعادن موصلات ممتازة لتدفق الإلكترون.

الهواء الجاف موصل سيئ جدًّا للإلكترونات. هناك مشاكل خاصة بالشتاء مثل الكهرباء الاستاتيكية للملابس اللصيقة، والمصافحة باليد الصادمة كهربائيًّا، والسبب في ذلك هو أن هواء التدفئة داخل المباني يميل إلى أن يكون جافًّا أقصى الجفاف، ومن ثم فإن أي جسيمات مشحونة تكون قد جمعتها فوق شخصك عند المشي عبر غرفة مغطاة بالسجاد أو بخلع معطفك، سيكون من المرجح أن تظل موجودة فوق شخصك إلا إذا وجد، أو إلى أن يوجد مكان آخر تذهب إليه هذه الجسيمات. ستؤدي هذه الجسيمات المشحونة إلى أن تشد معًا بقوة طبقات الملابس الباقية، أو أنها ستقفز منك إلى اليد التي يقدمها لك وافد جديد — خاصة إذا كان هذا الشخص يرتدي خاتمًا معدنيًّا. سيحدث عند هذه اللحظة الصادمة الفريدة أن يقفز في المعتاد ما يقرب من تريليون إلكترون إلى مضيفهم الجديد، لتعود ثانية بمانحها إلى الاقتراب من حالة التعادل التي يتميز بها عادة الجسم البشري.

على عكس ذلك ما نجده في جزيئات الماء في أيام الصيف الحارة الرطبة، التي يتفق فيها أن تكون هذه الجزيئات لها شحنة موجبة صغيرة عند أحد أطرافها، عندها تميل هذه الجزيئات إلى أن تغسل سريعًا إلى حد ما الإلكترون الزائد سواء أن تغسله عن الأقدام أو عن أقمشة الملابس، وبهذا تعود بك إلى حالة من السكينة الخاصة قبل أن تصل إلى باب بيتك.

ولكن الحال لا يكون هكذا في العالم في الخارج. فالبرق الشوكي في عاصفة رعدية صيفية رائعة يمنحنا أروع مثال في الطبيعة عن كيف تتبدد الزيادة المتضخمة لتفاوت الشحنات — بين تكدس لكتل هواء تنساب منزلقة، وبين جو مضطرب في أعلى، ومجال أرضي متبلد في أسفل — بالتوصيل المفاجئ للشحنات السالبة والموجبة من السحاب إلى الأرض ثم العودة مرة أخرى من الأرض إلى السحاب، وكل هذا بفضل ما يوجد بينهما في السماء من فرقة جيش من قطرات الماء، وبكلمات أخرى فإن البرق هو شرارة مقبض الباب على نطاق كبير جدًّا. يمكنك أن تسمي البرق إذا شئت بأنه النسخة العظمى لمنفذ للكهرباء الاستاتيكية. ولكنك عندما تفعل ذلك يكون فيه ما يعرضك للخطر: كلمة «كهرباء» مثل كلمة «قوة»، ومثل كلمة «شحنة» تعني أشياء مختلفة بالنسبة للأفراد المختلفين، أو حتى بالنسبة للأفراد أنفسهم عندما يختلف مزاجهم وحجم حروف طباعتهم. هناك بعض العلماء والمهندسين، يؤدي بهم استمرار تناول مصطلح «الكهرباء» بإهمال إلى «الغضب» الشديد حتى إنه يمكنهم بغضبهم أن «يذيبوا سلك الأمان» في مصهر الكهرباء. وليم ج. بيتي مهندس كهربائي يحتفظ بموقع راقٍ ثقيل الوزن في شبكة «ويب» يشرح فيه الكهرومغناطيسية وما يحيط بها من الكثير من الأساطير وأوجه سوء الفهم، وهو يتشكّى من أن كلمة الكهرباء «سلة معانٍ» لكلمة واحدة تطبق في فوضى واختلاط وتخبط على ظواهر مختلفة كل الاختلاف: طاقة الكهرباء، تيار الكهرباء، شحنة الكهرباء، فاتورة الكهرباء. وهو يحاج بأننا حتى نكون واضحين، ربما يكون من الأفضل لنا جميعًا أن نتفق على أنه «في الواقع لا وجود للكهرباء!»

يكاد «بيتي» أن يكون على صواب من ناحيتين: الأولى أن المصطلح غامض إلى حد رهيب، وهو أكثر غموضًا إلى حد بعيد من أمثلة كثيرة أخرى للمفردات المتقاطعة المعنى. في حين أن «القوة» و«الشحنة» كلمتان تحتفظان بمعانٍ علمية محددة بصرف النظر عن الأفكار العاطفية عنهما في الحياة اليومية، إلا أن «الكهرباء» ليس لها مثل هذا المعنى العلمي المحدد. تظل كلمة «كهرباء» باقية أساسًا بين العلماء كنزعة من الفولكلور، بالطريقة نفسها التي لا يزال يتحدث بها علماء الزحافات والبرمائيات إلى الجمهور عن «الزواحف» حتى مع أنهم قد نبذوا المصطلح فيما بينهم منذ سنين باعتباره أثريًّا وغير دقيق.

والناحية الأخرى، أنه فيما يتعلق بمعظم الأفراد فإن الشيء الذي يرجح إلى أقصى حد أنهم يطلقون عليه اسم الكهرباء، لا يكاد يكون له وجود فيما يبدو، حتى أصبح «فعلًا» بلا «وجود»! بمعنى أنهم عندما يجلسون إلى مكتبهم ويعملون بحماس على حاسوبهم — حماس بالغ يجعلهم لا يبالون بتوفير جهدهم المرة بعد الأخرى — ثم يصيحون فجأة «ياه، تبًّا، بحق هيلمهوتز[11] ماذا حدث بكل هذه الكهرباء؟!» بالنسبة للكثيرين منا، الكهرباء هي القوة الخفية التي نتوقع أنها تنطلق قدمًا في سخاء من مخارج القوى في الجدران أو من مجموعات البطاريات القلوية التي تعمل بالزنبرك، وتضيء مصابيحنا، وتدفئ غرفنا، وتجمد طعامنا، وتنظف ملابسنا، وتحرك ساعاتنا الرقمية الصغيرة المغروسة فيما لا يقل عن أربعة وسبعين جهازًا منزليًّا، بما في ذلك صندوق نفاية القطة. الكهرباء هي ما نحاول أن نحمي أطفالنا منه وهم يتعلمون المشي بأن نسد المخارج الخالية بقطع من البلاستيك. إذا كانت كلمة الكهرباء ليست الكلمة الصواب، فماذا تكون الكلمة الصواب؟ أو بما هو أهم كثيرًا، ما هو هذا الشيء الذي داومنا على تسميته تسمية خطأ طول هذه السنين؟

[11] هيلمهوتز فيزيائي ألماني سمي باسمه جهاز لإنتاج مجال مغناطيسي متسق. (المترجم)

ها هنا يمكن للكثيرين من الباحثين أن يتشككوا في رفض «بيتي» بشدة للكلمة منذ البداية. فهم يرون أن موضوع الكهرباء وطريقة عملها يطرحان فرصة جميلة لنقل الكثير من مبادئ الفيزياء الأساسية من خلال ضربة واحدة. نعم بالتأكيد، تُستخدم كلمة «كهرباء» حسب ما يختاره المتكلم، اختيارًا نزويًّا وكثيرًا ما يكون مبلبلًا، ليصف مجموعة متنافرة من الأحداث الفيزيائية؟ ولكنك لو أمكنك أن تأخذ كل واحد من هذه التأثيرات بدوره وتفكر في المكان الذي يلائمه عندما نتصرف تصرفنا العادي الخارق للعادة ونملأ إحدى الحجرات بالعديد من ستائر الشمس، ربما تتغلب عندها على اعتقادك بأنك تُترك دائمًا في الظلام.

ذكرت البرق فيما سبق كنوع من عرض «فاجنري»[١٢] للكهرباء الاستاتيكية، وإن كان العلماء مثل «بيتي» سيصرخون وهم على صواب مرة أخرى، بأنه ليس هناك أي شيء «ستاتيكي» أو ساكن بشأن الكهرباء.

ومع ذلك، فإن أناسًا بمختلف الدرجات من الخبرة الكهربائية قد ميزوا منذ زمن طويل بين الشرارات الطائرة وصواعق البرق التي لا يستطيعون التحكم فيها، وبين التيار الكهربائي الذي يمكنهم عمومًا التحكم فيه (إلا إذا كانوا يعملون في مؤسسة مرفق الكهرباء في حينا). التيار الكهربائي، مثله مثل الاستاتيكية اللصيقة، كلاهما ينشأ من رحلات لجسيمات مشحونة، إلا أن تدفق الجسيمات في التيار الكهربائي يكون متواصلًا وموجهًا إلى هدف وغالي التكلفة؛ أما الاستاتيكية اللصيقة فهي حادث عرضي لا يمكن التحكم فيه، عرض لتنال هدية صغيرة عند شرائك لشيء، عرض لا تستطيع أن ترفضه مطلقًا.

تفهّم الكهرباء وتدجينها من أجل رفاه القطاعات الأغنى من البشرية قد استغرق قرونًا من عمل موكب من سلسلة علماء متعاقبين خلدت أسماؤهم في قائمة تثير الحسد: في شكل وحدات معيارية دولية للقياس،

---

[١٢] نسبة لريتشارد فاجنر (١٨١٣–١٨٨٣م)، موسيقي ألماني مشهور أدخل الدراما في الأوبرا. (المترجم)

يظل يحفظها عن ظهر قلب طلبة الفيزياء في ليلة امتحاناتهم النهائية، هناك الكونت أليساندرو فولتا، الفيزيائي الإيطالي الذي اخترع البطارية الكيميائية؛ وجيمس بريسكوت جول الفيزيائي البريطاني الذي أوضح أن الحرارة شكل من الطاقة؛ وتشارلز أوجستين دي كولومب الفيزيائي الفرنسي والرائد في دراسة المغناطيسات والتنافر الكهربائي، وجيمس وات المهندس الإنجليزي والمخترع الذي صمم محركًا بخاريًّا ممتازًا جدًّا وحاز براءة اختراعه، ولكنه لم يعمل أبدًا وزيرًا للداخلية في إدارة ريجان؛ وأندريه ماري أمبير الرياضي والفيزيائي الفرنسي الذي اكتشف العلاقة بين القوة المغناطيسية والتيار الكهربائي والذي نمجده بوحدة الأمبير، أو الأمب اختصارًا، ولكنه بما يثير العجب لا علاقة له بفعل amplify (تكبير) المستقى من كلمة لاتينية تعني «كافٍ»؛ ولويجي جالفاني الذي اكتشف أن التيار الكهربائي يحفز تقلصات الأعصاب والعضلات، واسمه موجود في خلفية الكلمة الموسوعية الودودة «يجلفن» (أو يثير وينبه بالصدمة الكهربائية)؛ وجورج سيمون أوم، الفيزيائي الألماني الذي حدد العلاقة بين الفولتية أو الجهد، والتيار، والمقاومة في التيار الكهربائي، والذي يشاع عنه أنه كان يمارس تأملات اليوجا عندما يظن أنه لا يوجد أحد من حوله.

من أوم حصلنا على الأوم، الوحدة التي تستخدم لقياس المقاومة في دائرة كهربائية أو جهاز كهربائي. وعلى الرغم من أحدًا لا يتوقع منك أن تستوعب الفروق الدقيقة للوحدات أو من سميت باسمه (باستثناء أن تتذكر من يكون ومن لا يكون «وات» الحقيقي الذي سميت وحدة الوات باسمه)، إلا أن الأوم يصلح كموضع لبدء الحديث عن الكهرباء وهي تسري خلال أسلاكك وماذا تقول عنا جميعًا.

المقاومة بالمعنى النيوتوني الواسع إحدى القوى، مثل قوة الاحتكاك، التي تعمل في الاتجاه المضاد للجسم المتحرك وتميل إلى إبطاء حركته. عندما نأتي إلى التيار الكهربائي نجد أن المقاومة قياس لكمية المادة التي تعوق التدفق الحر للإلكترونات من المُدخل إلى الجهاز المنزلي. كلما زادت المقاومة وزاد مقدار وحدات الأوم كان تدفق التيار أبطأ. كما ناقشنا فيما سبق،

الهواء الجاف له مقاومة عالية لأقصى درجة لمرور الإلكترون. أما المعادن فتميل إلى أن يكون لها مقاومة منخفضة وتوصل تدفق الإلكترون بسهولة. بعض المعادن تكون أفضل كموصلات من غيرها لأنها لديها نسبيًّا عدد أكثر من الفجوات في قشورها، وهي فجوات مفتوحة لتمرير الإلكترون. مثال ذلك أن قشرات النحاس والتنجستن تكون بوجه خاص مثقبة جيدًا مثل قرص عسل النحل، وتحمل فراغات في قشراتها قبل الأخيرة، وكذلك أيضًا في أبعد قشراتها الخارجية. ومن ثم فإن النحاس يستخدم كثيرًا في صنع أسلاك الكهرباء، بينما يحتفظ بالتنجستن الأكثر ندرة لصنع الخيوط الرهيفة للمبة الكهرباء.

أنت بالطبع لا تود أن تسري الإلكترونات في بيتك بغير نظام — حزم مكشوفة من الأسلاك إذا لمستها فإنها ستحّول بعضًا من ذبذباتها في اتجاهك. قنوات التوصيل المعدنية للسلك العادي تأتي إلينا ملفوفة في طبقات من مادة عازلة، مادة لها إلى حد مريح مقدار كبير من وحدات الأوم، مثل المطاط أو البلاستك، حيث الذرات تتشبث بإحكام بإلكتروناتها وليس لديها الرغبة أو الصبر لمرور جزيئات عابرة سبيل. الإلكترونات قد تتجمع بسهولة على سطح بالون، ولكن المطاط يقاوم مرورها مخترقة عبر جلد البالونة — ويماثل هذا ما يفعله المطاط أو المواد العازلة المشابهة الملفوفة حول سلك كهربائي.

ولكن ما الذي يعنيه الحديث عن تدفق الإلكترونات، أو التيار الكهربائي؟ إنه يعني أن الجسيمات النشطة المشحونة تُوجَّه عبر مسار، مثل امتداد لأحد الأسلاك، يكون عادة موجهًا إلى هدف، حيث يُتوقع لهذه الجسيمات أن تؤدي بعض عمل عنده. لا يحدث أن كل — أو حتى معظم — هذه الإلكترونات المستثارة سوف تمر عبر ممر التوصيل كله، قد يتدفق بعضها طوال المسافة؛ أما الأغلبية، فمنها ما يصطدم بذرّة في الطريق، أو يفك رباط إلكترون في مداره ويدفعه قدمًا، ثم يتحرك بنفسه إلى الفراغ الذي تركه. النقطة المهمة هنا هي أن تيارًا كبيرًا من تريليونات الإلكترونات إما أنه يُدفع من وراء أو أنه يُجذب من أعلى رأسه، ويساق به في هياج وقلق.

والآن، فإن الإلكترونات في حركة دائمة، أيًّا كان الحال. الإلكترونات وهي تشكل سحابة حول إحدى الذرات، ترفض أن تتوقف. الإلكترونات وهي في قطعة مهملة من سلك نحاس تهتز باستمرار فيما حولها، وتتواثب من ذرة معدنية إلى الذرة المجاورة، وترتد وراء عند أي علامة لوجود إلكترونات أخرى، وهي ساخطة بنزعة إقليمية كالقطط. على أن هذه حركات اعتيادية للإلكترونات، فيها قدر من القوة يكفي للوفاء بالأوامر العالية لذراتها، ولكنه لا يكفي لفعل المزيد، فلا يكفي لتحريك زر للتشغيل أو تدوير ترس. إذا كان على الإلكترونات أن تقوم بأي أنشطة منظمة خارج المقرر العادي، فإنها يجب أن تشعر بأن هناك حثًّا لها. يجب أن تثار فيها الحيوية. يجب أن تأكل.

الإلكترونات لها كتلة — قدر صغير كل الصغر من الكتلة، ولكنها على أي حال كتلة. الإلكترونات إذن شكل من المادة. إنها شظايا مكثفة من الكون تحتاج لبعض سبب لتخرج من فراشها في الصباح وتبتعد عن أريكتها في المساء. وهي ليست مدفوعة بذاتها، بمعنى أنها ليست شكلًا من الطاقة، أو على الأقل ليست شكلًا من طاقة مفيدة.

في حدود ما نعرفه، فإن المجال الشاسع المزق لكوننا تدعمه دعامتان أساسيتان، فيهما إهانة صريحة «لصاحب القداسة الدونية للعدمية المطلقة» والكون من غيرهما ربما كان سيترنح منهارًا: إنهما المادة والطاقة. مع كل ما يوجد هنا وهناك من خواء نسبي لا يزال لدينا تعويذات فيها ما يُعد شيئًا ما. لا يَزال لدينا المادة والطاقة. أثبت ألبرت أينشتين حقًّا بما هو مشهور أن المادة والطاقة طرفان لحدوة الحصان المحظوظة نفسها، ومن الحقيقي أن المادة حسب كلمات الكاتب العِلمي تيموثي فيريس هي «طاقة مجمدة». نستطيع أن نستخلص من الكميات الضئيلة من الكتلة مقدارًا هائلًا من الطاقة، كما أثبتت القنبلة النووية التي دمرت هيروشيما وناجازاكي بصورة مرعبة. شمسنا أيضًا تسطع بأن تحول نسيج قلبها إلى طاقة خالصة من الضوء والحرارة؛ ولكنها بسبب قدرتها على أن تعتصر كمية إشعاع متألق بالغة الكثرة من كمية من كتلة الشمس بالغة الصغر، فإنها هكذا ظلت

تسطع طيلة ٥ بلايين سنة وسوف تظل تحترق لمدة أخرى لا تقل عن ٥ بلايين سنة.

ومع ذلك نجد في عالم عملنا اليومي المعتاد أن المادة والطاقة، مثلهما مثل القوى الأربع الأساسية في الطبيعة، تتصرفان وفقًا لكتيبات تشغيل مختلفة، وفخورتان بمواهبهما المتخصصة. لا غنى عن المادة في صنع كل الأشياء — الكواكب، سديم السرطان، ٣٥٠٠٠٠ نوع من الخنافس، أربعة أعضاء مغنين في فريق الخنافس. المادة تشمل العناصر التي تزيد عن المائة وتوجد بأي عدد من الخلطات، أو التوافقات، أو الجوامد، أو السوائل، أو الغازات. ولكن الكتلة لا تستطيع أن تفعل أي شيء له أهميته بدون الطاقة. التعريف الرسمي للطاقة هو أنها «القدرة على أداء العمل» وهو تعريف يبدو مزعجًا إلى حد بعيد. هل أنهيت دروسك في الجبر؟ حسنًا، إذن حان الوقت لتمارين البيانو! الأفضل أن نفكر في الطاقة على أنها عكس ما هو أبوي أو ينتمي إلى المعلم المتحذلق. هيا نفكر في الطاقة كأمر رومانسي. هيا نفكر فيها كعاشقة أو كفكرة العاشقة، كالشرارة التي تجعل للمادة أهمية. أنت تريد أن تضغط زر الإضاءة. تريد أن تندفع الإلكترونات خلال دوائرك الكهربائية. وهي لن تتحرك من نفسها. لا بد لك من أن تستثيرها. لا بد أن توفر مصدرًا للطاقة، وهذه سوف تحفز الإلكترونات في الدوائر وترسلها في تيار وهي تتدفق وتصرخ وتشهق لتنفيذ أمرك.

عندما تفكر في الطاقة عليك أن تنسى للحظة الصورة المزعجة للأجهزة الضخمة للبترول التي تُنشأ في القلة الباقية من براري العالم، حيث قد تترك الماكينات الثقيلة ندوبًا في الطبيعة وتوقع الفوضى في المنظومة الإيكولوجية بعد مرور زمن طويل من قيامها باستخراج الوقود الأحفوري الكامن من أسفل والذي تستحق قيمته بالكاد درجة النجاح في الفصل الدراسي. فلتفكر في طرق أكثر إسعادًا للحصول على الطاقة. يمكنك أن تأكل ملء سلطانية من الكرز، وتقدم لجسمك مصدرًا لمواد كاربوهيدراتية[١٢] معقدة يستطيع

[١٢] الكربوهيدرات مواد عضوية من الكربون والهيدروجين والأوكسجين وتتضمن السكريات والنشويات التي تشكل المصدر الرئيسي للطاقة في الطعام. (المترجم)

الجسم أن يفككها إلى قطع أصغر، ويؤدي هذا إلى إطلاق ما يسمى بالطاقة الكيميائية التي كانت تمسك بسلاسل الكربوهيدارت معًا. تستطيع أن تقيم طاحونة هواء تستغل تيارات الهواء المتحركة للف ريشتها لتدير ذراع كرنك يعطي طاقة لمضخة تولد تيارًا كهربائيًا. أو أنك تستطيع أن تنشر أشرعة مركبك الشراعي وتترك للقوة الميكانيكية للرياح أن تحملك من واحد إلى آخر من الأنشطة التي تمارسها في وقت فراغك. تستطيع أنت ومعشوقتك أن يضم أحدكما الآخر أمام مدفئة وتنالا الدفء من «طاقة الحرارة» التي يولدها احتراق مجموعة مختارة من كتل الخشب الصلبة الموسمية، ربما تضرم فيها النار باستخدام قطع مجعدة من الصحف أو خطابات حب قديمة من رفقاء الماضي غير المخلصين. إذا رأيت صرصارًا كبيرًا ومقززًا لأكثر مما ينبغي يدور ليستقر في راحة تحت باطن حذاء التنس الخاص بك، يمكنك أن تقتله باستخدام «طاقة الجاذبية» التي يوفرها انطلاق قطعة طوب من يدك فوق الأرضية.

هذه الأشكال المتباينة من الطاقة التي وصفناها بأنها كيميائية، أو حرارية، أو ميكانيكية، أو طاقة جذب، أو هستيرية، كلها تنويعات لفئتين كبريتين من الطاقة: أولاهما الطاقة المختزنة التي تعرف باسم أكثر فخامة هو طاقة الوضع؛ والثانية هي الطاقة المتحركة أو الحركية. الكرزة الناضجة فيها طاقة كامنة في روابطها الكربوهيدراتية، تعمل إنزيمات الأيض داخل خلاياك على افتراس هذه الروابط بانتظام، وأثناء ذلك يتحول بعض من طاقة الوضع في الفاكهة إلى طاقة حركية تمكنك عندئذ من استخدامها في الذهاب لشراء المزيد من الكرز. البحيرة المتجمدة في الجبال مستودع لطاقة الوضع، وهي عندما يذوب الجليد في الربيع ويبدأ في الانحدار في خرير تغدو طاقة حركية بقيمة لها قدرها كمشهد طبيعي، عود الكبريت المشتعل يحول طاقة الوضع في الخشب إلى طاقة حركية من لهب ساخن راقص. عندما ترفع قطعة طوب فإنك أساسًا تحقنها بطاقة وضع. عندما تسقط قطعة الطوب، سرعان ما تعبّر طاقة الوضع عن نفسها كضربة عنيفة من طاقة حركية تهوي فوق الهيكل الخارجي الزلق الأحمر

المسمر لذلك الكائن التعس من نوع «بريبلانيتا أميريكانا» أو الصرصار الأمريكي.

الطاقة التي نسميها طاقة كهربائية لها أيضًا هاتان الهيئتان، طاقة الوضع والطاقة الحركية. الإلكترونات والبروتونات كظاهرة أساسية في عالمنا الذري، يشدّان على نحو لا يقاوم أحدهما الآخر. إذا فصلناهما، فسوف تطاردهما القوة الكهرومغناطيسية لتجد طريقة ما لإصلاح عدم التوازن. هيا تحرك أيها الإلكترون تجاه البروتون! املأ الفجوة! ماذا تظن نفسك، أتظن أنك نيوترون؟ القوة الكهرومغناطيسية تحث أيضًا الجسيمات ذات الشحنة المتماثلة على أن تبقى على مسافة معينة تبعد بها عن الجسيمات الأخرى من نفس نوعها. لو أننا دفعنا بشحنتين متماثلتين إلى الاقتراب معًا على نحو غير طبيعي، فستشعران بأنهما محاصرتان، وأعصابهما مثارة، وهما تتحفزان في قلق للوثوب متباعدتين. الطاقة الكهربائية التي نعتمد عليها اعتمادًا بالغًا تستفيد من هذه الدوافع الدقائقية بطرائق عديدة. لدينا بطاريات تؤدي فيها مجموعة من التفاعلات الكيميائية إلى توليد تراكم من كم مفرط من الإلكترونات عند أحد الطرفين، بينما هناك مجموعة أخرى من التفاعلات الكيميائية ينتج عنها عند الطرف الآخر كثرة من ذرات مشحونة إيجابيًّا، أو أيونات. عندما نعطي للشحنات المضادة الفرصة للاختلاط سينتج تفجر من الطاقة ربما يكفي تمامًا لإضاءة الحجرة.

على أنه حتى يسري تيار الكهرباء متدفقًا، فإنه يحتاج إلى مسار يسلكه، أي دائرة كهربائية أو موصل، تمامًا مثلما تطلبت الإلكترونات الفائضة التي التقطتها من السجادة وجود جسر من أصابعك فوق مقبض الباب، أو فوق أنف حيوان مدلل، حتى تصل هذه الإلكترونات إلى مراعٍ فيها شحنات إيجابية أكثر. عندما نستخدم امتدادًا لسلك معدني ليوصل بين قطبي البطارية السالب والموجب فإنه يوفر المسار المطلوب. تحس الإلكترونات الفائضة عند أحد الطرفين بقوة شد الأيونات الموجبة هناك بعيدًا، كما تحس بتنافر مصاحب لذلك مع الزملاء الآخرين المحيطين ذوي الشحنة السالبة. تبدأ الإلكترونات في الاصطدام بذرات السلك التي تطرح بعضًا من

إلكتروناتها الخارجية، وهذه بدورها تصطدم بالذرات الأبعد قليلًا، وكما يحدث لصف من قطع الدومينو يهوي بالتتابع في قعقعة، تظل الشحنة تندفع أمامًا. يعاد تفسير طاقة الوضع لكيماويات البطارية كطاقة حركية إلى ذرات وإلكترونات متدافعة متصادمة يمكن استخدامها لإدارة موتور أو تسخين خيط سلك لمصباح متوهج حتى يشع بالضوء، ضوء مذهل، ضوء ساطع ملتهب مثل تي شيرت تايجر النسائي.

يعتمد التيار الكهربائي الذي يسري من المقابس في الحائط بفضل وحدة الكهرباء المحلية أيضًا على دفع وجذب الشحنات الكهربائية بطول قنوات موصلة للكهرباء. والعزل المبدئي للشحنات الموجبة عن تلك السالبة ليس بالأمر السهل، إذ إنه يتطلب شغلًا لإبقاء البروتونات منفصلة عن الإلكترونات، والشغل يتطلب طاقة. فشجرة الفاكهة تحتاج إلى أشعة الشمس حتى تزهر، وتحتاج محطة توليد الكهرباء مصدرًا للطاقة لتولد نوع الكهرباء المناسب الذي يطلبه العملاء. ومعظم محطات توليد الكهرباء في الولايات المتحدة تعمل بحرق الفحم، فتحول تدريجيًّا كميات ضخمة من الطاقة الكامنة المتراكمة في هذه القوالب الصغيرة المتحجرة من الغابات القديمة إلى نهر من الجسيمات المشحونة يندفع بعنف لتلتقي الجسيمات مع نظيراتها. إحدى الطرق التي يتجلى بها التحول من فحم إلى شرارات تكون عبر النصف الثاني من القوة المسئولة عن الشحن: المغناطيسية.

وكما توصل مايكل فارادي Michael Faraday وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell منذ ما يزيد عن قرن، فإن القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية بينهما علاقة وثيقة وعلاقة رياضية. وقد كان كلا الفيزيائيين من الرواد المتألقين في السعي لتوحيد القوى الأساسية للطبيعة، وهي مهمة لا يزال يعمل بها آلاف من واضعي النظريات عملًا مربحًا حتى يومنا هذا. ونتيجة لمجهود فاراداي بهذا الصدد فاز بتسمية وحدتين معياريتين للقياس وليس وحدة واحدة — الفاراد والفاراداي. أما ماكسويل، فنحن نظهر له الحفاوة والتقدير في كل مرة ننطق فيها المصطلح المختصر الذي صاغه؛ الكهرومغناطيسية.

ولكن ما المقصود بالمغناطيسية؟ ولماذا لدينا الكثير منها على أبواب الثلاجات؟ وكيف ترتبط الكهرباء بالمغناطيسية؟ ويتضح أن كليهما بارع جدًّا في العمل الميداني ويولد مجالات خاصة به — المجالات المغناطيسية والمجالات الكهربائية — ومجال إحدى القوتين يمكن أن يؤثر في سلوك القوة الأخرى. والحديث عن «المجال» يعني التأثير على بعد، أو إن الجذب لا يتوقف هنا. فالأرض لها مجال جذب، أي أنها تجذب الأجسام الأخرى تجاه نفسها، والذي يضعف تدريجيًّا كلما أمكنك أن تطير بعيدًا عن الأرض. وبالمثل يكون للجسيم المشحون مثل الإلكترون أو البروتون مجال كهربائي من حوله، وهو عبارة عن نطاق نفوذ خاص يمتد في الفضاء ويؤدي إما إلى تنافر أو جذب الجسيمات المشحونة الأخرى. والمجال الكهربائي، كما هو حال مجال الجاذبية، يغدو أضعف كلما ابتعدنا عن مصدره. وكما يعرف كل من لعب يومًا بقضيبين مغناطيسيين أو بلعبة قطار من طراز «القاطرة توماس»، فإن للمغناطيسات أيضًا مجالات متميزة، أي مناطق قوة تنطلق من كل طرف من المغناطيس وهي إما تطرد أو تجذب أطراف القضيب الآخر. فمن أين تأتي هذه المغناطيسية الشديدة؟ وسواء كانت الأشياء التي نسميها مغناطيسات عبارة عن قضيب مغناطيس أو المغناطيس التقليدي على شكل حدوة حصان المطلي باللون الفضي والأحمر، أو حجر المغناطيس في متحف التاريخ الطبيعي، أو الظهارة السوداء القابلة للثني التي تحافظ على عرض بطاقة عملك كطبيب بيطري، فجميعها يشترك في خاصية فريدة وهي تزامن الدوران. فعندما تدور الإلكترونات حول الذرة تدور في الوقت نفسه حول محاورها، وإن كان «الدوران» في سياق الركن الكمي الأكثر فضولًا لا يشبه بالضبط طريقة دوران الكرة الزجاجية أو الكواكب؛ وأحد أسباب ذلك أن الإلكترون يستغرق دورتين كاملتين حتى يعود إلى حيث بدأ. ومع ذلك فإن الإلكترونات تحتشد حول النواة وتدور حول محاورها وينتج كل منها مجالًا مغناطيسيًّا محدودًا للغاية وهو يدور. وبعضها قد يدور في اتجاه ما، والبعض في اتجاه آخر، والنتيجة النهائية هي أن التأثيرات المغناطيسية لهذه الحركات تؤدي في معظم الذرات إلى أن يلغي أحدها الآخر.

ومع ذلك، في بعض المعادن، مثل الحديد والكوبلت والنيكل، من الممكن أن تصبح دورات الإلكترون متزامنة، إما لفترة مؤقتة أو دائمًا، ويؤدي هذا إلى اتساعِ هذه المجالات المغناطيسية الصغيرة إلى مجال واحد كبير. هكذا يكون لدينا الآن مغناطيس، وهو شيء يتميز، من بين خواص أخرى له، بأنه يولّد مجالًا مغناطيسيًّا، ويجذب الحديد والصلب، ويستجيب بحماس للكهرباء.

عندما نرسل تيارًا كهربائيًّا خلال أحد الأسلاك، فإن التيار يستطيع، حسب اتجاه تدفق إلكتروناته، أن يزيل المغناطيسية عن المغناطيس أو يعيد مغنطة مغناطيس أزيلت عنه مغناطيسيته، أو يحول معدنًا غير ممغنط إلى مغناطيس مؤقت. تؤثر الإلكترونات المتدفقة للتيار الكهربائي على توزيع الذرات في المغناطيس، أو أنها في بعض حالات المادة التي لها طموح لأن تكون مغناطيسًا؛ منظمة الذرات متشابهة الدورات في صف، ومن ثم تمغنط المادة أو أنها في حالات أخرى تخلط في غير نظام الإلكترونات التي تدور في اتجاه عقرب الساعة وضد اتجاه عقرب الساعة وتزيل المغناطيسية عن مادتها.

يحدث الدوران والتوزيع بالتبادل، يستطيع أحد المغناطيسات أن يطلق تيارًا كهربائيًّا بمساره عبر أحد الأسلاك في نشاط يماثل نشاط الدورة الدموية. إذا جعلنا سلك نحاس يلف سريعًا حول أحد المغناطيسات، فسوف يستثير المجال المغناطيسي الإلكترونات في النحاس ويجعلها تأخذ في الرقص من قشرة إلى قشرة. ومن ذرة إلى ذرة. إذا أضفنا حافزًا موجبًا إلى أحد أطراف السلك، فسوف تتدفق الإلكترونات المندفعة بعنف متجهة إليه. كثيرًا ما تخلق محطات القوى تيارات كهربائية بأن تلف ملفات نحاس ضخمة داخل مغناطيسات ماردة بسرعات عالية، ويُساق الدوران بمحرك توربيني يزوده الفحم بالطاقة. تحدث موجة تتابع من إلكترونات فائقة الاستثارة في الملف تشبه موجة تتابع سقوط قطع الدومينو، ويتم بثها خلال شبكة من خطوط الطاقة تمتد طويلًا، بعضها يُدس تحت الأرض، والبعض الآخر يثبت فوق أبراج الضغط العالي التي تبدو متضخمة كالأشباح عبر الطريق

الرئيسي، وكأنها موكب من عمالقة من مطاط من طراز ميشلين لهم أذرع من شرائط الألمونيوم.

عندما تضغط زر تشغيل حاسوبك المنزلي، فإنك تحول بعضًا من التيار الكهربائي لينتقل في مرح عبر الأسلاك في عمود الكهرباء الموجود خارج منزلك، ويوجهه هذا العمود من خلال خط التوزيع الذي يغذي أسلاك منزلك ويتيح له أن يستثير الإلكترونات في سلك الكمبيوتر. تضخ هكذا طاقة حركية في السلك يمكن تخصيصها لأحد المهام، مثل تنشيط محرك ضئيل الحجم في القرص الصلب للكمبيوتر. أو أنها تستطيع إعادة فصل الشحنات الموجبة والسالبة في حزمة بطاريات كمبيوترك: تلك العملية التي نسميها «شحن البطارية» وذلك مرة أخرى مما يثير انزعاج أنصار الطهارة الإلكترونية، الذين يلاحظون أنه لم تتم إضافة شحنات جديدة وبدلًا من ذلك فإن الشحنات الموجودة من قبل فصلت بعنف وعزل ما بينها عزلًا كافيًا بحيث تصبح إعادة اتحادها في النهاية أمرًا فيه بعض الجاذبية. مع وجود إمداد مريح من طاقة الوضع في بطاريتك وتحت تصرفك، فإنك لن تبكي إذا حدثت تأتأة استاتيكية هائلة في السماء وأسقطت شجرة فوق عمود مرفقك الكهربائي. قد يومض الضوء لينطفئ، ولكن عجبًا، لا يزال الكمبيوتر يشع، وتستطيع أن تظل تعمل وتعمل وتعمل في الظلام.

بث التيار الكهربائي يتطلب دائرة كهربائية، ممرًا للذرات القابلة للمقايضة مع الجسيمات المشحونة، وتصبح مستثارة في هذه العملية، وتدفع قدمًا تلك الموجة من الطاقة الحركية. إلا أن الطاقة الكهرومغناطيسية، أي الإشعاع الكهرومغناطيسي، لا يحتاج شيئًا لنشره من هنا إلى هناك. تستطيع موجات الطاقة الكهرومغناطيسية أن تنتقل ببراعة خلال الفراغ، وهذا يُعد من حسن حظنا، وإلا متنا من البرد والجوع واشتياق لا يتوقف للشمس. مصطلح «الكهرومغناطيسية» يشمل مفاهيم مختلفة تمامًا — التجاذب بين الإلكترونات والبروتونات في إحدى الذرات، وما بين الجوارب والملاءات في المجفف، وتدفق الجسيمات المشحونة خلال أحد الأسلاك، والوهج المصفر للمبة ضوء الفلوريسنت — ولهذا فإنه قد يكون من السهل أن تفوتنا رؤية

الجمال الخاص للإشعاع الكهرومغناطيسي وخفة وضياء الضوء على نحو لا يقارن، أو قد نسيء فهمه.

الطاقة التي نعتمد عليها نحن أهل الأرض تكاد كلها تبدأ بموجات الإشعاع الكهرومغناطيسي التي تنطلق من شمسنا بسخاء وبصورة لا تصدق. قد نحرق الفحم ليصنع البخار ليدير التوربينات لتجعل ملفًا من النحاس يلف ليصنع تيارًا كهربائيًّا ليدفئ وينير منزلنا في ليلة شتاء، وربما «نكرر» البترول كيماويًّا وبالتكنولوجيا الحرارية، نكرر ذلك البترول الخام الذي يُستخرج من طبقات سميكة من الحجر الطيني، والحجر الجيري، وكبريتات الكالسيوم أسفل الصحراء العربية السعودية، نكرره إلى البترول الذي تجري به عرباتنا. إلا أن كل أنواع هذا «الوقود الأحفوري»، تلك المخبوءات من مادة النبات القديمة التي ضُغطت كحلوى الكراملة في طاقة كثيفة خلال ٣٠٠ مليون سنة تحت الأرض، كل هذه الأنواع من الوقود الأحفوري قد تزودت بالوقود أولًا من ضوء الشمس. النباتات لديها الأدوات الجزيئية التي تأسر إشعاع الشمس وتضعه موضع الاستخدام. تصبح النباتات عندها طعامًا للآخرين — طعام سريع لمن يجمعون حاليًّا الكرز، أو طعام بطيء عندما تصبح الوقود الأحفوري للمستقبل. ليس هذا مهما: البطل الحقيقي هنا هو مؤلف كل قصة ومرتدي كل إزار: إنه الشمس. يقول دانييل نوكيرا من معهد «ممت»: «عندما تأكل نباتًا أخضر مورقًا، فإنك تأكل فوتونات طاقة الشمس. أنت بذلك تقضم ضوء الشمس.»

نحن نميل إلى التفكير في الشمس على أنها الضوء الذي نراه، الذي تتمكن خلايا شبكيتنا من أسره ونقله كنبضات عصبية ليفسرها المخ. وبكلمات أخرى نحن نفكر في ضوء الشمس على أنه ما نسميه الضوء «المرئي»، تلك الشريحة الصغيرة من الطيف الكهرومغناطيسي التي تستطيع عيوننا البشرية أن تراها. إلا أن معظم ضوء الشمس يتصف مجازيًّا بأنه مظلم، بمعنى أنه خارج تلك النسبة المئوية الضئيلة من الطيف الكهرومغناطيسي التي يستطيع إبصارنا الضعيف نسبيًّا أن يكتشفها. لو كانت الشمس من نوع أحد محلات باسكن روبنز للأيس كريم المنوع وفيها ١٠٠ بليون نكهة

في القائمة، لكنا قادرون على تذوق خمسة منها لا غير. نحن ندرك بعضًا من قوى الشمس اللامرئية — الإشعاع الحراري الذي يحس الجلد به دافئًا من فوقه، والإشعاع فوق البنفسجي الذي يسبب بدء التجاعيد. إلا أن هناك أنواعًا أخرى كثيرة من الطيف الكهرومغناطيسي، تموجات بطرائق كثيرة تبقى خفيفة فوق أقدامك. بوب ماثيو من جامعة ويسكنسون في ماديسون لديه أحجية صغيرة يود لو أن كل واحد يستطيع حلها. يسأل ماثيو بفصاحة: «ما هو الشيء المشترك في كل الأشياء التالية: موجات الراديو، والموجات الميكروويفية، وتحت الحمراء، والمرئية، وفوق البنفسجية، وأشعة إكس، وأشعة جاما؟ «هو أنها كلها ضوء».

حسن، إنها كلها ضوء. فهي كلها إشعاع كهرومغناطيسي. إنها كلها ... ماذا؟ الإشعاع الكهرومغناطيسي هو حقًا مجالان من المجالات الكبيرة المتحركة، أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي، وهما ينتقلان معًا في زاوية قائمة أحدهما بالنسبة للآخر. أقول لك مسلّما إن هذا يصعب تصوره، ولكن لنفكر في هذا: الإلكترون يحاط بمجال كهربائي، ذلك الموقف الكاريزمي، أو قوة الشخصية التي تستجيب لها الجسيمات الأخرى المشحونة. إذا حركت تيارًا من الإلكترونات جيئة وذهابًا بسرعة بطول موصل معدني؛ فسيؤدي الهز والرج لمجالاتها الإلكترونية إلى توليد مجال مغناطيسي يلتف حول ذلك الموصل مثلما تلتف الأصابع حول مقبض قيادة الدراجة. المجال المغناطيسي المولود جديدًا يؤدي بدوره إلى استثارة تكوين مجال كهربائي آخر، وهذا بدوره يقبل التحدي ويخلق مجالاً مغناطيسيًا جديدًا. وهكذا يواصل العرض التكرار وتواصل المجالات الكهربائية والمغناطيسية لف خيوط مجالات جديدة متناظرة. ومع نشأة كل مجال جديد وليد، فإنه يستطيع أن يكبّر المجالات الموجودة من قبل أو أن يقللها أو يعدّلها، حسب ما إذا كانت ذروات المجالات وقرارتها تتزامن إحداها مع الأخرى أو تتدخل في طريقها. هذا الإنتاج المتذبذب للمجالات يبدأ في التموج إلى الخارج كإشعاع كهرومغناطيسي — أي كضوء. قد تلتصق الإلكترونات فوق الخط الناقل لها، إلا أن المجال الكهرومغناطيسي الذي أثارته يستطيع أن ينطلق متحررًا

وهو يحوم خلال الهواء أو خلال لاهواء مطلقًا، وينتقل بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية، حد السرعة الكونية الذي أخذ الضوء رخصة بأن ينطلق بها.

تستطيع كل أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي أن تنتقل بسرعة الضوء، ولكنها تفعل ذلك بأسلوبها المتميز. يعتمد الأمر على الطريقة التي تعالج بها مجالات أمواج الضوء أمرها الواحد مع الآخر وهي تتبادل تفاعلها وانتشارها، بناء على ذلك قد تنتقل موجات الضوء في تموجات طويلة لطيفة، أو تنتقل في شكل تموجات مضغوطة عصبية لها قمم مسنونة، أو أنها تنتقل بأي حجم بين هذا وذاك. قد تصلك إشارة خالصة من موجات متشابهة من ضرب معين، أو تتلقى تشكيلة منوعة من العينات القصار أو المتوسطة أو المفرطة في كبر حجمها. يشبه ذلك ما يحدث عندما تجر يدك جيئة وذهابًا خلال ماء حوض الاستحمام. إذا ضربت الماء بصورة عشوائية سوف ينبثق من تقليبه قمم وقيعان ورغاوي كلها من أحجام مختلفة. على أنك إذا أخذت تحرك الماء في إيقاع منتظم، فسوف تتمكن من إثارة أمواج ناعمة متتالية متدافعة يمكنها بكل تأكيد أن تعوّم لعبة بطة مطاطية لتنطلق إلى ما لا نهاية، لولا وجود جدران حوض الاستحمام.

شمسنا متعددة الوظائف تخبز باقة من المجالات الكهرومغناطيسية وتشع الضوء عبر الطيف. لما كانت الشمس نجمًا متوسط الحجم ومتوسط العمر. فإنها حسب مسار خطط النجوم تكون فحسب تحت ضغط متوسط في قلبها — مصدر وهجها الكهرومغناطيسي — ومن ثم فإن نسبة هينة من ضوئها تكون من طاقة مؤذية ولكن بغير مبالغة، وتتواثب هذه الطاقة خلال الفضاء بأطوال موجية هادئة مضغوطة، وبالمصادفة تقع هذه الموجات الطولية في المنطقة المرئية أو قرب المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي، وإن كانت كلمة «بالمصادفة» هنا لا علاقة لها بذلك. تطورت عيوننا لتستجيب على أحسن ما يمكنها للضوء المحيط بنا في بيئتنا، والشمس بارعة جدًّا في نشر موجات الضوء التي يتراوح طولها بين ١٥ و٣٢ جزء من المليون من البوصة. هذه هي شريحة الضوء التي سميناها

نحن البشر هومو سابينز غير المتواضعين باسم الضوء المرئي، أو الضوء البصري، أو ضوء النهار. إلا أن هذه المصطلحات فيها تعمية رهيبة. تستطيع الحيوانات الأخرى أن ترى ضوءًا يقع خارج ما يسمى بالمدى المرئي — في أمواج الضوء فوق البنفسجي، وتحت الأحمر، والرادار. النحل كمثل يرى أكمل الرؤية في المدى فوق البنفسجي، وهناك أزهار كثيرة تومئ بإشارات فوق بنفسجية لتلك الحشرات التي تحمل لها حبوب اللقاح، في حين أن أعين أفعى الجحور السامة تكتشف الضوء تحت الأحمر، وهو توقيع الإشعاع الحراري الذي ينبعث من طعامها المرتقب مثلما ينبعث مما يهددها.

موجات الضوء ذات الأطوال المختلفة تبرع في أداء أفعال فذة مختلفة. تستطيع موجات الراديو بسبب طولها البالغ أن تنتقل دون أن تمتصها أو تبعثرها جزيئات الهواء، والموجات الأكثر طولًا بين موجات الراديو تنحني بسهولة حول منحنى الأرض. ومن ثم فإن هذه الموجات ممتازة في بث إشارات الإذاعة من محطات راديو وتليفزيون غاية في البعد لتصل إلى أجهزة الاستقبال الملائمة في بيوتنا أو سياراتنا، أو كما يحلف بعض الناس تصل إلى حشو أسنان المرء.

يلي ذلك هبوطًا في الطيف الكهرومغناطيسي تلك الكتيبة الضوئية التي أسيئت تسميتها بأنها إشعاع الميكروويف. الأمواج الميكروويفية ليست أبدًا ميكروية، وإنما لها طول موجي معقول، يمتد مداه من حوالي السنتيمتر الواحد إلى المتر الواحد. وعلى غرار موجات الراديو، فإنها طويلة بما يكفي لنقل الإشارات خلال الهواء دون انقطاع. وهي بخلاف موجات الراديو يمكن تركيزها في حزمة شديدة التوجه ومن ثم فإنها تنقل الإشارات من أحد الهوائيات المجوفة إلى الآخر مع توفير درجة نسبية من الأمان والخصوصية. الرادار أحد أشكال الإشعاع الميكروويفي، نبض موجه من موجات الميكروويف ينعكس من الأجسام الصلبة ليعود إلى المتلقي، فيكشف عن موقع الأجسام التي تئز بدقة خارقة للمعتاد. الرادار من النوع الفائق الامتياز يستطيع أن يحدد موقع ذبابة منزلية على بعد كيلومترين وإن كان من الواضح أن هذا رادار يتاح له وقت أكثر مما ينبغي.

عندما نعبر إلى الطرف الآخر من الطيف نجد أشعة إكس، وهذه بأطوال موجات قصيرة جدًّا يقرب عرضها من عشرة أجزاء من المليون من الملليمتر، أو تقريبًا عرض إحدى الذرات. أشعة إكس نشطة نشاطًا كبيرًا يكفي لأن تستدليع المرور مباشرة عبر معظم أجزاء الجسم، ولكن الأنسجة عالية الكثافة مثل العظام تمتصها. استخدمت أشعة إكس منذ زمن طويل استخدامًا مفيدًا في الطب، وطب الأسنان، والبيولوجيا، وعلم الفلك، ومع ذلك فإنها ما زال عليها أن تطرح عنها اسمها المستعار الملازم لها، اسم إكس X (س) الذي يرمز إلى عامل مجهول، الاسم الذي أضفاه عليها في ١٨٩٢م مكتشفها ويلهم رونتجن، لأنه لم يكن لديه أي فكرة عما تكونه هذه الأشعة. حتى بعد أن اتضحت الطبيعة الكهرومغناطيسية لأشعة إكس، إلا أن حرف إكس الساكن الذي يعبر عن الإلغاز ما زال ملتصقًا بها، وحسب ما هو ظاهر سيظل إلى الأبد علامة لها.

عندما نجتاز أشعة إكس نأتي إلى أشعة جاما، وهي إلى حد بعيد موجات بطول يسهل قياسه حسب ما نستطيع. أشعة جاما أقصر من عقدة رباط لرقبة البروتون من نوع ربطة البابيون، ولكن أشعة جاما تحمل على عاتقها حزمًا من طاقة ضخمة. إذا شقت أشعة جاما الشمسية طريقها من خلال جوِّنا بكل ما يتراكم فيه، فإنها لا تفعل ذلك إلا لتضل الطريق وتدخل أحشاء ما يوجد من جزيئات الهواء في هذا الطريق. ومع ذلك فإن هذه الأشعة لها مخاطر محتملة لصحة الإنسان ومرافقه. هناك من يسافرون كثيرًا في رحلات طيران طويلة عبر القارات تمر من خلال طبقة الاستراتوسفير[١٤] الشفافة التي تعلو الأرض بستة أو ثمانية أميال، وهؤلاء قد يتعرضون لتأثير متراكم بكميات غير مرغوب فيها من إشعاع جاما الشمسي. وإذا حدث أن انفجر نجم في أي مكان خلال مسافة تبعد عن الأرض بما يقرب من ٢٥٠٠٠ سنة ضوئية وتحول إلى سوبر نوفا، انطلاق أشعة جاما يمكن أن يصرع تمامًا منظومات بأكملها للاتصالات عن بعد. تليفونات

[١٤] الاستراتوسفير الجزء الأعلى من الغلاف الجوي. (المترجم)

خلوية (محمولة)، مدونات، بريد إلكتروني، مواعيد أحباء إلكترونية، تسكع إلكتروني – الحياة كما نعرفها ستمحى (e-rased) إلكترونيًّا في ومضة.

الطبيعة في الجانب الفاتن من وجهها لا تتصرف بما يشبه كثيرًا البخلاء. في نهاية كل ربيع يتناثر فوق أرضية الغابات براعم متساقطة عددها يزيد مئات المرات عما كان يمكن بأي حال أن يحمل ثمارًا، وتتناثر أيضًا جيوش من جوز متبرعم يموت قبل أن يثمر بزمن طويل، وهناك عظام أفراخ صغيرة لطيور غريدة ثبت أنها تزيد عما ينبغي وهكذا طردت من العش. أثناء نمو مخ الجنين البشري، لا بد أن يموت مائة عصبون إزاء كل خلية مخ تستقر وتتصل مشبكيًّا بجيرانها؛ كذلك فإن أصابع أيدي وأرجل الجنين قبل الولادة تتشكل بأن تنبرى من زعانف بدائية تبرز من نهايات أطرافه.

يرعى الفيل الكلأ يوميًّا لمدة ست عشرة ساعة، وهو يأكل في هذه الفترة طعامًا يساوي وزن بدنه: ثلاثمائة رطل من الحشائش والأوراق والجذور واللحاء والغصون والخيزران والتوت والذرة والبلح وجوز الهند والبرقوق وقصب السكر، وأيضًا، كما اكتشفت في سنوات الصبا، الحلوى الدائرية المغطاة بالشوكولاتة. إلا أن أمعاءه تستخلص فقط جزءًا صغيرًا من المواد الغذائية من بين الكميات الشاذة التي يلتهمها، ويُنبذ الباقي في نفاية مذهلة الكم تقرب من مائتي رطل من الروث يوميًّا.

على أنه يكمن من تحت ثدي الطبيعة المسرف في عطائه صراف رفيع الشفتين يحصى كل حبة وخلية في المخ ويحسب ثمن كل حزمة عشب. الطبيعة تعيد تدوير كل شيء بعناد، كل كومة روث وشجرة خشب أحمر هاوية، هناك مجتمع صاخب من كائنات دقيقة من البكتريا والفطر تلتهم كل ما هو ميت عفن، وتستخرج الحياة مما هو ميت مهمل، وكأن هذه الكائنات تدرك بالبداهة أنه لا شيء جديد تحت الشمس. هناك لازمة تتردد هي نفسها في كل العالم الفيزيقي من الكون الشامل حتى ما تحت الذرة، إنها لازمة الحفاظ على البيئة: ليست هذه مجرد فكرة جيدة، إنها القانون. اكتشف نيوتن بعض قوانين الحفاظ على البيئة. مثال ذلك أنه حسب قانون

الحفاظ على كمية الحركة، إذا كان هناك عربة تستطيع الانتقال فوق أي نوع من تضاريس الأرض ووزنها ٥٠٠٠ رطل، وتسير بسرعة ٣٠ ميلًا في الساعة، ثم اصطدمت اصطدامًا مباشرًا بفيل غاضب وزنه ١٢٠٠٠ رطل يتجه إليها متلهفًا بسرعة ٢٥ ميلًا في الساعة، فإن كمية حركة الفيل، وهي ناتج ضرب كتلته في سرعته، ستكون نسبيًّا هي الأكبر، وستتأثر إلى حد جزئي فقط بكمية الحركة المضادة والأصغر للعربة المتحركة، وسينقل بعض من حنق الفيل إلى العربة قاذفًا بها إلى الوراء لتصطدم بأقرب شجرة من شجر التبلدي.[١٥]

قانون الحفاظ على الشحنة يعني أنه بالنسبة لكل شحنة موجبة تتولد عندنا هنا، يجب أن تكون هناك شحنة سالبة في مكان آخر: إذا نتج عن تمشيط شعرك أن تحولت خصل قليلة إلى أشياء موجبة تتنافر تبادليًّا، فلا بد أنك قد غمرت مشطك بإلكترونات إضافية. ليس في إمكانك أن تخمد أو تعادل من شحنة الجسيم المتأصلة فيه، وبقدر ما يدركه العلماء، فإن الكون متوازن كهربائيًّا: هناك لكل بروتون إلكترون (يدور ويدور، ويدور). لا يمكنك أن توجد ذرة أو مجموعة ذرات مشحونة سلبيًّا — أيون سالب — دون أن تنتج في الوقت نفسه أيونًا موجبًا.

لعل أعمق ما يوجد بين كل قوانين الحفاظ، هو قانون من بين اثنين كرر العلماء القول لي بأنهم يودون لو أن الجمهور يفهمهما، أحدهما قانون الحفاظ على الطاقة، الذي يعرف أيضًا بأنه القانون الأول للديناميكا الحرارية. طالما أحببت كلمة «الديناميكا الحرارية»، ذلك لما فيها من مغزى وحس للحرارة وهي في حركة. علم الديناميكا الحرارية هو دراسة العلاقة بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع من جانب، والحرارة من الجانب الآخر. المقدمة المنطقية الأساسية الداعمة لهذا الفرع من المعرفة هي أنه: في المنظومة المغلقة يبقى إجمالي الطاقة بما فيها الحرارة دائمًا محتفظًا به. لا يمكن استحداث الطاقة، أو إعادة نسخها، أو إلزامها إجباريًّا بأن تكون من أحجام

[١٥] التبلدي: شجر استوائي عريض الجذع، لثماره غلاف قاسي. (المترجم)

أخرى. لا يمكن إفناء الطاقة، أو تنقيحها، أو إجبارها على التقاعد المبكر. يمكن للطاقة فحسب أن تنتقل من مالك إلى آخر أو أن تتحول من شكل إلى آخر. التعبير الذي يحدد الأمور هنا هو «المنظومة المغلقة». هناك منظومات كثيرة نلاقيها في حياتنا اليومية ليست مغلقة. عندما تغلي مياهًا فوق موقد، تستطيع أن تواصل إضافة المزيد من الطاقة إلى المنظومة — أي إلى وعاء المياه المعدني — وذلك ببساطة بأن تبقي اللهب مشتعلًا. تنطلق الطاقة الحركية بالاحتراق المتصل للغاز الطبيعي وتنتقل باضطراد إلى جزيئات الماء، بما يسبب تحركها مضطربة إلى أعلى وإلى أسفل فيما حولها، وبأسرع وأسرع حتى تصل إلى طور التحول فتتحول إلى غاز. حتى بعد أن يغلي كل الماء متبخرًا، تتمكن الطاقة الناتجة عن احتراق الغاز الطبيعي من أن تواصل تشغيل المنظومة، فتؤكسد من أشائب معدن الوعاء وتفجر ما بينها من روابط، وتصهر بوليمرات[١٦] الراتنج المتينة في يد الوعاء، حتى يصل بك الأمر في النهاية، أيها الطاهي المهمل، إلى أن تحتاج لفتح منظومة أخرى — فتفتح نوافذ وأبواب بيتك لتخلي المطبخ من الرائحة الكريهة لوعائك المفضل الذي سيلقى به في صندوق القمامة.

على أن هناك منظومات أخرى مألوفة لنا وتُعد مغلقة فعليًّا — مثال ذلك طفل على «زحليقة» في فناء لعب. يتسلق الطفل إلى قمة الزحليقة، ويجمّع طاقة وضع في تسلقه. ثم يجلس الطفل عند قمة الزحليقة، ويتنفس نفسًا عميقًا، ويتأكد أن أحد الوالدين، أو من يرعاه، يرقبه بما يناسب بمزيج من الانفعال والإعجاب، ثم هيا ننطلق، ويأخذ في إنفاق طاقة الجذب المختزنة كثمن يُدفع مقابل أداء الطاقة الحركية المثيرة، ومعها جانبيًّا ما يتحتم من زيادة حرارة مقعده. إذا أضفت الطاقة الحركية للهبوط إلى الطاقة التي انتقلت بالحرارة إلى الزحليقة، وأرداف الطفل، وجزيئات الهواء الذي اندفع عبرها، ستكون حصيلة مجموع ذلك مساوية لطاقة الجذب التي بدأ بها الإجراء.

---

[١٦] البوليمر: مركب كيميائي له وزن جزيئي كبير، ويتكون نتيجة ترابط عدد من المركبات لها وزن جزيئي صغير. (المترجم)

تشكل الشمس والأرض منظومة طاقة أخرى، أفضل طريقة للتفكير فيها هي على أنها منعزلة، على الأقل حتى نستطيع ابتكار نسخة أخرى من السفر داخل فقاعة صغيرة مخلّقة من الزمكان، كما في مسلسل «رحلة النجوم» (Star Trek) لنستطيع البحث عن حياة جديدة، وعن ممالك سعودية عربية جديدة. أما في وقتنا هذا فعلينا الاكتفاء بالطاقة التي نستقيها من الإشعاع الشمسي أو سلالته الكيميائية المخلوطة الملوثة أو الناتجة عن الظواهر الجوية — أي الفحم والخشب وتيارات الرياح — أو الطاقة الناتجة عن معالجة المادة فوق الأرض في محطات الطاقة النووية، أو طاقة حلقات الاندماج التي لا تزال وهم خيال.

على أن الكون نفسه هو المنظومة التي تغلق كل المنظومات. القانون الأول للديناميكا الحرارية ينطبق على الكون بالمعنى الكلي للكلمة. ما عندنا هو ما حصلنا عليه وسيكون دائمًا لدينا. انطلقت الطاقة لحظة الانفجار الكبير منذ ١٣,٥ بليون سنة، وهذه أول طاقة (ط) لنا وآخر (ط) لنا، وهي أملنا الوحيد وهبة الطبيعة لنا. ليس هناك ودائع، ولا عائد، ولا تولّد تلقائي، يوجد فقط مقايضات للسلع المختزنة. الحقيقة أن هذا ليس بالقانون السيئ، وهو بطريقة ما يوفر السكينة للروح. أحد أسباب ذلك أن هناك طاقة كافية لأن تزود بالوقود النجوم التي يبلغ عددها ١٠ بليون تريليون من النجوم في ١٠٠ بليون مجرة في الكون المرئي كهرومغناطيسيًّا، كما تكفي كذلك لتوفير الوقود للكميات الهائلة من المادة المظلمة والطاقة المظلمة اللتين تتصفان بأنهما بلا ضوء وخفيتان عن الأنظار، ولكننا نعرف أنهما موجودتان هنالك. يشبه كوننا العجائن الفرنسية: عجائن مليئة بالهواء، ولكنها ثرية بما لا يوصف، ألا تظن حقًّا أن واحدة منها تكفي؟

بالنسبة للماديين قانون الحفاظ على المادة يطرح ما يكافئ دمية دب روحانية، وكما يتمسك الأطفال بدمية الدب في رعبهم ليلًا بفراشهم، فإن الماديين يتشبثون بهذا القانون خلال تلك اللحظات المتأخرة ليلًا المليئة بالرعب عند التفكير في الموت والضياع في النسيان والعماء النهائي للأنا. قانون الحفاظ على الطاقة هو بالفعل وعد بوجود خالد. الكون من الناحية

العملية منظومة مغلقة. تظل طاقته الإجمالية محافظًا عليها. لن يُستحدث المزيد، ولا يفنى أي شيء منها. فيما يتعلق بحصيلة الطاقة الخاصة بك، الطاقة في ذراتك والروابط فيما بينها، فإنها لن تبيد، ولا يمكن أن تُلغَى من الوجود أو تفرّغ. سوف تتغير الكتلة والطاقة التي بُنيت منها، تتغير في شكلها وموقعها، ولكنها ستظل باقية هنا في هذه التركيبة المتداخلة من الحياة والضوء، وهي الرفقة الدائمة التي بدأت «بانفجار». «لا شيء يفنى، لا شيء يضيع أبدًا، ذلك أن الماكينة كلها، رغم كل تعقدها، تعمل بسلاسة وانسجام ... الحفاظ على أكمل انتظام»، هكذا يسجل الفيزيائي البريطاني جول صاحب أول قانون للديناميكا الحرارية. أقول ذلك لابنتي كلما أصابها الرعب من الظلام، ومع أنها كانت ستفضل شكلًا من الأبدية شخصيًّا بدرجة أكبر، إلا أنها تجد شيئًا من الدفء في هذه الحقيقة من الديناميكا الحرارية. ذات صباح قارس البرد ألقت ابنتي، وهي تغادر المنزل إلى المدرسة، نظرة خاطفة كئيبة تواقة إلى القطة «ماني»، تلك القطة التي تتغذى جيدًا وهي تندس كقطعة من الفراء في مسند الأريكة. وقالت ابنتي: «عندما أموت آمل أن تتمكن بعض ذراتي من أن تجد طريقها إلى إحدى القطط».

عندما نقول «الحرب العالمية الأولى» فإن هذا يطرح ضمنًا أن هناك حروبًا أخرى، وعندما نضيف كلمة أولى إلى «الملكة إليزابيث» أو «الملك فيليب» فإن هذا يعني أن هناك أفرادًا آخرين بهذا الاسم عملوا بعدها ولو على الأقل كرءوس اسمية للدولة، وبمثل ذلك تمامًا فإننا عندما نقول القانون «الأول» للديناميكا الحرارية فإن هذا يبين أننا في البداية لا غير. الحقيقة أن هناك أربعة قوانين أساسية للديناميكا الحرارية — وأحدها لمّا تم تصور مفهومه بعد الأول أُعطي له اسم غريب محبب «القانون الصفري للديناميكا الحرارية» أي السابق للأول — إلا أن أهم هذه القوانين إلى حد بعيد هما الأول والثاني. فهما يشبهان تعديلات دستور الولايات المتحدة. التعديل الأول يكفل حرية الكلام والصحافة، والعقيدة. والثاني يحمي الحق في حمل مدفع ميداني. ماذا تحتاج أكثر من ذلك؟

وبالمصادفة ينظر العلماء إلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية على أنه نوع ما من الأسلحة النارية، تنثر قذائف مبعثرة من الرصاص خلال المنزل، فتسقط الصور من على الجدران، وتفجر الشاشة المسطحة للتليفزيون، وتجعل من الأثاث فتاتًا قطنيًّا. كتب روبرت هازن وجيمس تريفل أنه إذا كان القانون الأول للديناميكا الحرارية هو الأخبار الطيبة، كقانون طبيعي مماثل لخلود الروح، فإن القانون الثاني هو إذن «الأخبار السيئة»، لقانون طبيعي يساعد في توضيح السبب في أن الجسد يغدو مسنًا. يمكننا أن نسمي القانون الثاني أيضًا بأنه «تعليمات للغز بيضة همبتي دمبتي».[١٧] بمجرد سقوط هذه البيضة الكبيرة المتكلفة الابتسامة، المتحذلقة، التي ترتدي ربطة عنق، سقطتها الكبرى، فإن كل خيل الملك، وكل رجال الملك، وكل جراحي التجميل، وكل شرائط اللصق، وكل أعضاء «لجنة الأمان للنقل القومي» لن يستطيعوا أن يضموا معًا ثانية الأجزاء المتكسرة لهمبتي دمبتي. القانون الثاني هو السبب في أنك أنت أو أي محترف يُستأجر لا بد من أن يبذل أي منكما جهدًا له قدره لتنظيف منزلك، أما إذا تركت المنزل وحده لأسبوعين وأنت في عطلة، فإنه سيغدو قذرًا دون أن يكلفك شيئًا. يفسر هذا القانون السبب في أن بعض المشروبات لها طعم طيب وهي باردة وبعضها لها طعم طيب وهي ساخنة، ومعظمها لها طعم مقرف في درجة حرارة الغرفة — هذا بالطبع مع استثناء النبيذ الأحمر. القانون الثاني يضمن لك بعض درجة من التشوش وسوء الحظ في حياتك، مهما كان من تخطيطك المحكم لمشروعك ومهما أعدت تفحص كل تقرير فيه لثلاث مرات. ارتكاب الخطأ ليس فقط أمرًا بشريًّا: إن فيه جانب مقدس.

هذه بعض من التضمينات الفلسفية للقانون الثاني وبعض فقراته المخادعة. ما هي المبادئ الفيزيائية من ورائه؟ أول مقدمة منطقية للقانون، التي تبدو متواضعة على نحو خادع، هي أن الحرارة لا تنساب تلقائيًّا من

---

[١٧] همبتي دمبتي: أغنية أطفال فولكلورية فيها أحجية حلها هو البيضة. تتحدث الأغنية عن شيء اسمه «همبتي دمبتي» (القصير البدين) يقع من حائط عال وينكسر ولا يستطيع كل رجال الملك وخيله أن يلملموه معًا بعد الكسر. أحيانًا تستخدم عبارة همبتي دمبتي لترمز لشخص قصير أخرق. (المترجم)

جسم بارد إلى جسم ساخن. إذا كنت تحمل قمع أيس كريم في يوم حار، سيأخذ الأيس كريم في الذوبان. إذا واصلت حمله في اليوم الحار، سيزداد ذوبانه وتتساقط قطراته أسفل القمع متدحرجة فوق أصابعك، لتتناثر على الأرض. لن يغير الأيس كريم تفكيره ليأخذ في التجمد ثانية. أثناء الفصل المضاد، إذا أخذت قدح قهوتك الساخنة في الشتاء إلى الهواء الطلق ولم يكن لديك قدح من النوع المعزول جيدًا، فسوف تبرد القهوة سريعًا. لن تكتشف القهوة طريقة لتستخلص بها وتركز أي كميات صغيرة من الحرارة قد تجدها في الهواء الذي يتحرك من حولها. ما يحدث في كوننا هو أن الانسياب التلقائي للحرارة يكون له اتجاه واحد هو من الجسم الساخن إلى الأبرد منه ... سيحدث المرة بعد المرة أن سخونة هواء الصيف ستتجه إلى ما معك من الأيس كريم، وأن الدفء في قهوتك سينتشر في برد الشتاء القارص، وإذا حدث لك فجأة أن وجدت عكس ذلك، فربما يكون قد حان الوقت لأن تنظر في أمر إعادة تأهيلك عقليًّا.

اتجاه سهم الحرارة أمر معقول على المستوى الجزيئي. تتحرك جزيئات الجسم الحار أسرع من جزيئات الجسم البارد. عندما تصطدم الجزيئات النشطة بالجزيئات الأكثر هدوءًا، تنقل بعض نشاطها أو طاقتها إلى الجسيمات البطيئة وتصبح أقل نشاطًا بعد هذه المقايضة. جزيئات الهواء الساخنة في الصيف تصطدم ببلورات ما معك من الأيس كريم، وتبدأ البلورات في الاهتزاز وتنفصل متباعدة؛ وعلى الرغم من أن جزيئات الهواء التي تحيط مباشرة بالقمع تبرد قليلًا وهي تنقل حيويتها إلى الأيس كريم، إلا أن من الصعب إدراك ذلك عندما يكون هناك قدر كبير من الهواء الساخن يدور هنالك. في قهوتك الساخنة، نجد أن الجزيئات السريعة الحركة عند السطح ستشرك في طاقتها الهواء البارد الذي يعلوها مباشرة. جزيئات الهواء هذه التي سخنت ستهز الهواء من فوقها، في حين أن الحرارة التي ترتفع من مسافة أبعد في أسفل القدح سوف تهز جزيئات القهوة التي أبطأت عند السطح. في أي من الحالين، تنتقل الطاقة من الساخن إلى البارد، وحتى لا يحدث ذلك سيتطلب الأمر أن تقاوم الجزيئات الباردة البطيئة بطريقة ما

التأثير الأعظم نسبيًّا للجزيئات السريعة الساخنة إلا أنه لا يوجد أي سبيل للجزيئات وحدها بذاتها لأن تصد ما يوجه لها من ضربات.

ونتيجة النزعة الطبيعية للحرارة لأن تنساب من النقطة الساخنة إلى النقطة الباردة حدث تساو وتجانس تدريجي للحرارة، أي انتشار للطاقة لتصل إلى نمط أكثر ضعفًا وأقل تنظيمًا. إذا تركنا كوب عصير ليمون فوق المنضدة وفيه مكعبات ثلج، فإنها ستفقد بنيتها. عندما تندفع حرارة قدح القهوة إلى الجو المحيط بها، نجد أن التفاعلات الجزيئية التي تسبب النكهة العطرية الثرية للمشروب، تبطئ هي أيضًا، ويصبح طعم القهوة لطيفًا. حتى نحافظ على البنية، وحتى نحافظ على ممال لدرجة الحرارة يقاوم الاندفاع التلقائي للحرارة نحو البرودة، نحتاج إلى إدخال لقاح من الطاقة. تستطيع أن تبقي على ثلجك في شكل المكعبات اللطيف بأن يظل في حجيرة التجميد بالثلاجة، على أن آلية التبريد المعقدة للثلاجة أو حجيرة التجميد تقودها الكهرباء مثلما هو الحال مع ملفات التبريد في جهاز تكييف الهواء. تستطيع أن تدفئ منزلك في الشتاء، وأن تقاوم أن يُفقَد تدريجيًّا هذا الدفء باتجاهه إلى الهواء البارد في الخارج، ولكنك ستحتاج هنا مرة أخرى إلى الطاقة: موقد يعمل بحرق الخشب، أو فرن يتزود بالوقود من البترول أو الغاز الطبيعي. ومهما كان بيتك معزولًا، فسيستمر مع ذلك فَقْدُ الحرارة تدريجيًّا إلى الشارع، ومن هنا تترتب الحاجة إلى مورد جديد متوفر للطاقة.

يقودنا هذا إلى المقدمة المنطقية الثانية للقانون الثاني، التي يمكن ببساطة أن نقررها فيما يلي: لا شيء مكتمل على نحو أمثل. أو بصيغة أكثر رسمية، إنك لا تستطيع أبدًا أن تبني محركًا تكون له كفاءة بنسبة ١٠٠ في المائة، ويستطيع أن يحّول كل جرام من الوقود تغذيه به إلى شغل مفيد شريف توافق عليه الأخلاقيات البروتستانتية. نحن لا نستطيع أن نبني ماكينة تتحرك حركة أبدية وتواصل القرقعة والطقطقة بدون بذل مساعدة دورية من الخارج، وإن كنا نعرف أن آلافًا من البشر منذ دافنشي قد حاولوا ذلك مرارًا وتكرارًا وهم بذلك كانوا يحاربون ضد القانون الثاني، وكسب القانون هذه الحرب. مهما شحّمنا المحرك بسخاء، ومهما شحذنا

وهيأنا تروسه على أكمل وجه، فسيظل هناك قدر من الطاقة التي تسوقه يضيع كحرارة تُنفث إلى السماء بدلًا من أن تتحول إلى عمل في متناولنا. ينتهي الأمر ببعض الطاقة الحركية إلى أن تستثير جزيئات الهواء من حول المحرك، أو ذرات القاعدة التي تحيط بالأجزاء المتحركة، أو المسامير الملولبة التي تثبت الأجزاء معًا. هناك شيء ما في مكان ما سيأخذ الحرارة ويبددها. معظم الماكينات تقل كفاءتها كثيرًا عن ١٠ في المائة أو حتى ٥٠ في المائة، بما ذلك الماكينات الصغيرة العضوية داخل خلايا جسدنا. وعلى سبيل المثال، فإن الكثير من أنواع النبات تتمكن من أن تحول ٥ في المائة فقط من الطاقة الآتية إليها من الشمس لتصبح طاقة مخزونة تنمو عليها.

حتى نفهم حتمية عدم الكفاءة، هيا نفكر لحظة واحدة في جزء بسيط من محرك السيارة، وهو الحركات إلى أعلى وأسفل وإلى الداخل والخارج للمكابس في الأسطوانات التي تحرك عمود الكرنك. في كل مرة يندفع المكبس إلى أسفل داخل أسطوانته، ينضغط الهواء في الداخل ويسخن. كنتيجة لذلك لا يقتصر ما يحدث على أن بعضًا من طاقة الاحتراق يُفقد في استثارة غير ضرورية لجزيئات هواء الأسطوانة، وإنما نجد الآن أيضًا أن هذا الهواء الساخن الفظ يجب إزالته من الأسطوانة قبل التمكن من بدء دورة المكبس مرة أخرى؛ وإلا فإن المحرك سيزيد من سخونة أحد الصمامات الكهربائية ويفجرها، أو يفجر أحد حشوات منع التسرب، أو ينفصل المحرك عن وحدة المعالجة المركزية للعربة، أو أنه يتوقف تمامًا عن العمل. يعني هذا المطلب أن تفتح صمام عادم ينقذف منه الهواء الساخن إلى الجو، حيث عليه أن ينبذ أي إدعاء له كمواطن منتج دافع للضرائب ويأخذ بدلًا من ذلك في الاختلاط بالغازات الأخرى الساخنة الرءوس أو الحادة الطبع التي لا تستطيع أن تفعل شيئًا أفضل من أن توقع الفوضى في مناخ كوكب الأرض.

موجز القول: علينا أولًا أن ندفع ثمن شيء هو في المقام الأول مما لا نحتاجه ولا نريده، ثم علينا بعدها أن ندفع ثمن التخلص منه. يبدو هذا شبيهًا بأشياء كثيرة في الحياة، أليس كذلك؟ كأكل الحلوى ثم اللجوء إلى قاعة

التمارين الرياضية، والجرح الذي أصابك في عندما أسقطت حمل الحديد الذي تتمرن به فوق إصبعك، وفاتورة الطبيب الذي خاط لك الإصبع ثانية، ومثل الضفدعة الإفريقية الأليفة لابنتك، ثم التخلص من هذه الضفدعة بعد أن تحللت أسفل ألواح أرضية غرفة نوم ابنتك. لا شيء يُعد كاملًا ولا أحد يعد كاملًا بوجه أمثل، والأذكياء لا يضيعون وقتًا أكثر مما ينبغي في محاولة الوصول إلى ذلك.

يقودنا هذا إلى ثالث مقدمة منطقية للقانون الثاني التي بإمكانها أن تكون الأكثر إثارة للكآبة: كل منظومة معزولة يزيد اضطراب انتظامها بمرور الوقت. أو كما توضح ذلك لافتة على باب رئيس تحريري: «الإنتروبيا دائمًا تنالك في النهاية».

كلمة إنتروبيا قد اكتسبت طابعًا شعبيًّا معينًا وكثيرًا ما تستخدم كمرادف للشواش (chaos)، ولكن المصطلحين لهما معنيان متمايزان. كلمة الشواش في الفيزياء والرياضيات تشير إلى منظومات مثل الجو، أو اقتصاد الأمة، منظومات تبدو عشوائية وغير قابلة للتنبؤ ولكنها كثيرًا ما يكون لها في الأساس أنماط منتظمة متكررة — سُحب بضغط عال، أو ما تذيعه سوز أورمان[١٨] في محطة الإذاعة العامة. الإنتروبيا، بالمقارنة، قياس لمقدار ما يوجد في إحدى المنظومات من طاقة «غير متاحة للشغل». الطاقة موجودة هنالك، ولكنها كذلك قد لا تكون موجودة، مثل سيارة أجرة تمر بك في ليلة ممطرة وقد توهجت عليها أنوار لافتة كتب عليها «ليس في الخدمة»، أو مثل مقعد في متحف مد عليه حبل من أحد مسنديه إلى الآخر، أو مثل الشخص المراهق. رودلف كلاوسيس فيزيائي ألماني ورائد للديناميكا الحرارية وهو الذي صاغ مصطلح «إنتروبيا» من الكلمة الإغريقية التي تعني «التحول»، وقد سكها بعناية، لتبدو مشابهة ما أمكن لكلمة الطاقة، فهما بالإنجليزية entropy وenergy. يقول كلاوسيس حيثما كان لديك طاقة، يكون من المؤكد أن تتبعها الإنتروبيا وهي تحمل عتلة في يدها.

---

[١٨] سوز أورمان كاتبة ومذيعة أمريكية مشهورة ببرامج جماهيرية عن الطريقة الناجحة لتشغيل الأموال. (المترجم)

يصر القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى. ويجيب القانون الثاني قائلًا: حسن، كل ما عليّ أن أفعله إذن هو كسر ركبتها.

الإنتروبيا في المنظومة المغلقة تزحف مرتفعة، بينما يهبط النظام ببطء. هذه حقيقة أساسها نزعة احتمالية، حقيقة باردة، صلبة، فاترة، مترهلة. إذا أحضرت إناء ماء في حالة غليان كامل، ووضعت فيه بيضة، وغطيت الإناء بغطاء محكم، وأطفأت اللهب، فسيكون لديك منظومة مغلقة على نحو معقول. سيكون الماء ساخنًا بالدرجة الكافية لتسوية البيضة لقوام مسلوق لين أو متوسط. ولكن سيحدث عند نقطة ما قبل أن تصل إلى الحالة المناسبة للأطفال، وضع أقصى الصلابة، أن تكون المنظومة قد فقدت قدرتها على الطهي. ستزول الكثير من الطاقة الحركية التي اكتسبتها جزيئات الماء بواسطة الغليان، إذ يُلقى بها كحرارة في الهواء تحت الغطاء. تغدو جزيئات الماء المتاخمة للبيضة أقل نشاطًا ولا تستطيع وهي في هذه الحالة من النشاط الأقل قوة مواصلة مراجعة بروتينات البيضة والكولسترول في داخلها ولا مواصلة الربط بينها وتربيطها متقاطعة. قد يبقى إجمالي طاقة المنظومة مثلما كان عليه عند أول تغطيتها بالغطاء المحكم، ولكنها أصبحت منتشرة وأهدأ — لم تعد بعد طاقة طهي بالغاز.

القانون الثاني بكل أسف له احتمالات ساحقة في صفه. عندما يتحدث الفيزيائيون عن منظومة يحكمها النظام، فإنهم يعنون بذلك منظومة تكون مكوناتها مرتبة في نمط منظم قابل للتنبؤ، مثلما يكون الحال عندما تكون ذرات الصوديوم والكلوريد متراصة بإحكام في بلورة ملح، أو كما تُنظم الكتب في مكتبة تُدار إدارة شديدة التدقيق — فترتب الكتب حسب الموضوع وحسب الحروف الأبجدية. ولكن دعنا نفكر في أمر هذه المكتبة، وكيف يسهل إيقاع الاضطراب في نظامها. لن تحتاج في ذلك إلى أن تحول المجموعة كلها إلى كوم مختلط فوق الأرض؛ يكفي إدخال كتاب واحد في موضع خطأ حتى يهدم عمل نهار كامل لإخصائي المكتبة. الحقيقة أن هناك طريقة واحدة فقط لتنظيم الكتب فوق الأرفف في تتالٍ لا خطأ فيه حسب «نظام

ديوي العشري للتصنيف»، ولكن هناك آلافًا فوق مئات الآلاف من الطرائق التي يمكن بها وضع الكتب وضعًا خطأ. ها هنا يكمن محرك الإنتروبيا. النظام — حسب التعريف — له قيود وحدود، في حين أن اللانظام لا يعرف حدودًا. هناك مقدار ضئيل ضآلة لا نهاية لها لاحتمال أن يظل الماء المغلي في إنائنا محتفظًا بحرارته بفضل جزيئات الماء المتجهة على السطح وهي تكرر اصطدامها فقط مع جزيئات الماء الأخرى من تحتها وبجوارها، بدلًا من أن يرتطم بعضها مع جزيئات الهواء بأعلى، وهذا احتمال ضئيل جدًّا. من الوجهة النظرية يمكن أن يحدث ذلك، تمامًا مثلما يمكنك نظريًّا أن تغلق عينيك، وتأخذ في قذف مائتي قالب طوب في أحد الأركان، وتجد عندما تفتح عينيك أنك قد رميتها وقد رصت منتظمة على أكمل وجه لأحسن وأجمل طراز فلمنكي لجدار مدفئة أحلامك. أما من حيث الواقع المحتمل فسوف تتعامل مع مشهد لكومة عشوائية من قوالب طوب نصف محطمة وضباب من طَفل مسحوق وصوت الشرطة وهي تدق على بابك الأمامي بأشياء ثقيلة خاصة بها.

إذا كنت تريد أن يتخذ ذلك الطن من قوالب الطوب شكل مدفأة أنيقة، فسيكون عليك أن تخرج ما لديك من أدوات، مالج (مسطرين) ودلو، وملاط، وسيكون عليك أن تستثمر بعضًا من طاقتك الكيميائية المخزونة لتنظم وتعيد تنظيم قوالب الطوب وتطلي بالجص النقط الخشنة، بما يشبه ما فعله التطور بنا. تستطيع أن تعتمد أيضًا على ما يلزم من لمسات التحسين وإعادة تدقيق المواضع بصفة دورية، عندما يحدث ما يصيب طوب الجدران وجزيئات الأسمنت لتتحول كما هو متوقع إلى مظهر رث، نتيجة تأثير الحرارة، والجاذبية، والرطوبة، والبرد، والشحم، وقطران الصنوبر، والفطر، وقعقعة شاحنات القمامة العابرة، وتلك المرة التي استدعيت فيها عاملًا لتنظيف المدافئ غير مرخص له لأنك لم تدرك أن عليك أن تفتح شيئًا يسمى «بالمدخنة». وفي النهاية، ربما تقرر أنت أو واحد من ذريتك أن الجدار قد تكسر ووهن في أماكن كثيرة بحيث إن من الأسهل أن تخرج المطرقة الثقيلة وتبدأ ثانية من جديد.

حسب القانون الثاني للديناميكا الحرارية، قد تبقى طاقة المنظومة كما هي من حيث الكم بينما تنخفض باطراد من حيث الكيف. طاقة البترول المركزة مفيدة تمامًا؛ الطاقة المشتتة للجزيئات المستثارة لثاني أكسيد الكربون وأوكسيد النيتروجين التي تتجشؤها أنبوبة عادم السيارة ليست مفيدة. تطرح أكثر القراءات قتامة للقانون الثاني أنه حتى الكون نفسه لديه في وريده أنبوبة حقن محاليل يقطر فيها المورفين، أي خنق بطيء لكل ما يتلألأ، ولكل ما يلف لولبيًّا، ولكل ما يمكن. في هذه النسخة من سفر الرؤيا، تعلو الإنتروبيا الكونية، وتهوي الطاقة المنتجة، وتذبل الحزمة كلها في عدم مبالاة باردة. يحدث الآن أن الموت عن طريق الانفجار لأحد النجوم يستطيع أن يصب في سحابة غاز مجاورة قدرًا بالغ الكثرة من الطاقة والمادة بحيث تتقلص إلى نجم وليد جديد تمامًا، وتستمر دورة الحياة النجمية في دورانها. في كون المستقبل البعيد الأكبر والأكثر غرابة، قد لا تكون فيه شموس خُلفت ولديها النية للانفجار، أو حضانات يُبذر فيها غرس يورث من الضوء.

ولكن قبل أن تجرفنا الكآبة من التلوث بالفورمالدهيد دعنا نتذكر أنه مهما كان مصير الكون النهائي، فلا يزال يتبقى لديه قدر رهيب من الزمن ليلعب دورًا فيه، وأن الكون كوميدي عبقري ومحب للجمال يتحدى الكسل المتأصل فيه، أي انحرافه بالإنتروبيا، يتحداه بسمفونيات متواصلة من الجمال المنتظم. الكون يحب الأنماط، ويبدو أنه لا يستطيع التوقف عن العثور على أساليب جديدة من الضوء، والخصائص، والأشكال الوظيفية وغير الوظيفية لمجرد الاستمتاع بذلك. من اللاتشكل أتت سحابة المجد التي نسميها بالذرة، ومن الرماد والغبار أتت النجوم التي تتشكل بطريقة منهجية للغاية حتى إننا نستطيع بواسطة ضوئها أن نعرف إلى متى ستظل تسطع ومتى وكيف ستموت. الذرات لا تقتنع بأن تبقى في عنصرها، كمكونات وحيدة، وبدلًا من ذلك تشبك أذرعها بعناصر أخرى لتصبح جزيئات يصاغ منها عالمنا، وهكذا فإن الكيمياء على صواب عندما تهزأ بهذا القانون في وجهه، وتعلن أن: دعنا ننطلق ونِنال حياتنا.

الفصل الخامس

الكيمياء

النار والجليد والجواسيس والحياة

عندما تظن أن هناك من سخر منك، وضايقك، وخدعك، لا تزعج نفسك في المرة التالية بأن تتخذ موقفًا دفاعيًّا. لا تعطِ معذبيك متعة الإحساس بالتنكيد عليك. لماذا لا تجرب بدلًا من ذلك حل الكيميائيين، وتحارب النار باستخدام ... حيلة من حيل الاحتفالات؟

يعترف الكثيرون من الكيميائيين بأنهم أحيانًا ينغمسون في الشعور بعقدة الاضطهاد. فيحسون بأن الجمهور يتصورهم كشياطين، بينما العلماء الآخرون يتصورنهم كمهمشين. الكيمياء هي المادة الدراسية التي يصر ستة أفراد على الأقل من كل ٦,٠٢٢٥ من الأفراد الأمريكيين بأنهم «رسبوا في امتحانها في المدرسة الثانوية» يظهر في أفلام هوليود عالِم شرير يتكلم بلغة غير مفهومة، غالبًا ما يكون كيميائي يرتدي معطفًا أبيض ويضحك ضحكًا متقطعًا كنقنقة الدجاجة وهو ينظر إلى كئوسه بما يغلي فيها، وأجهزته بفرقعاتها. يلوم الناس لومًا قاسيًّا كل ما يوجد من مواد «الكيماويات» في البيئة، وكأن هذه الكلمة ترادف «السموم». ويرد الكيميائيون اللوم بأن البيئة «ليست إلا» كيماويات، والأمر نفسه ينطبق علينا. دونالد سادواي أستاذ في كيمياء المواد يعمل بمعهد «ممت»، وهو يقول: «نحن مجرد وحدات

كربون ناسخة لذاتها، هذا هو ما نحن عليه. نحن لا نختلف بأي اختلاف كبير عن أحد الألياف المؤسسة على الكربون في الإطار القطري لعجلة السيارة المقوى بالصلب، ولعله ينبغي لنا إذن ألا نأخذ أنفسنا على محمل شديد الجدية.»

عندما لا يخشى الناس الكيمياء كتهديد للهواء، والماء، والسمك، والطيور، فإنهم يستخفون بشأنها باعتبار أنها شيء بيروقراطي، مجال ليس فيه حياة، لا سمك ولا طيور. رولد هوفمان عالم كيمياء في جامعة كورنيل، وشاعر، وكاتب تمثيليات، وقد لاحظ أنه نتيجة لأن الكيمياء «توضع بين الكون الفيزيائي والكون والبيولوجي» وأنها «لا تتعامل مع ما هو بالغ الصغر أو بالغ الكبر»؛ فإنها مما قد يُظن أنه شيء مضجر ومزعج بتفاصيله، «كما يكون الحال كثيرًا مع الأشياء التي في وضع وسط». أكثر من يهاجمون بطيش مجال الكيمياء هم بعض المسافرين الجالسين في المقاعد المجاورة لها على الجانبين، يقول ريتشارد دانهيزر أستاذ الكيمياء في معهد «ممت»: «الكيمياء هي علم اللب، العلم المحوري، إلا أن إسهاماتها غالبًا ما يُغفل الآخرون النظر إليها، بما في ذلك الكثير من علماء البيولوجيا، والفيزياء والباحثين الطبيين، وغيرهم ممن ينبغي أن يدركوا الأمور بأفضل من ذلك. نوقش كتاب «نهاية العلم» كثيرًا، وحتى هذا الكتاب الذي يحاج بأن فروع المعرفة العلمية الرئيسية أخذت تصل إلى أقصى حد لقدرتها على التفسير وأنها سرعان ما ستصبح بلا أهمية، حتى هذا الكتاب لم يهتم بذكر الكيمياء». ويتنهد دانهيزر تنهيدة مسرحية، ثم يقول: أعتقد أننا ليس فينا أي جاذبية ولا حتى لأن يُكتب لنا نعي.

والآن حان الوقت لحيل الحفلات. دانهيزر له ملامح صبيانية وهو أحد من ولدوا في فترة الزيادة الكبيرة لمعدل المواليد،[1] وله بنية يمكن أن توصف بأنها ليست بالغة الصغر ولا بالغة الكبر، وهو يوازن البوهيمية غير التقليدية لذقنه بارتداء ملابس من النوع الذي يحب خريجو المدارس

[1] حدث في أمريكا زيادة كبيرة في معدل المواليد في الفترة بعد الحرب العالمية الثانية. (المترجم)

الإعدادية ارتداءه: قميص بولو وبنطلون فضفاض من الكاكي. يدفع دانهيزر كرسيه إلى الوراء، ويأخذ في البحث خلال أدراج مكتبه. ولكن بلا نتيجة. ويقطع الغرفة إلى خزانة كتبه، ويمسح الأرفف بنظره، ويمرر يديه على أحرف الكتب الأعلى من مستوى عينيه. لا شيء حتى الآن. وأخيرًا يسألني إن كان لدي أي أعواد كبريت. وأخبره أن لا، فلست مدخنة. ويجيب: «حسن، هذا أمر طيب، فيما يخص صحتك. ولكنه سيئ جدًّا من ناحية ما أود توضيحه.» سيكفي لذلك دورة من لعبة تمثيل المشاهد لمقاطع الكلمة التي يُطلب حزرها.

تناول دانهيزر عود بلاستك من النوع الذي يستعمله الكيميائيون لبناء نماذج الجزيئات بالأعواد. وقال مشيرًا إلى العود الصغير: «تخيلي أن هذا عود كبريت»، وأومأت له، فقال وهو يرفع العود الصغير فوق مكتبه «هذه هي الفيزياء.» وترك العود يسقط فوق المكتب. ويصدر صوت رنة لسقوطه. وقال: «وهذه هي الكيمياء» قالها وهو يحك الفوسفور الافتراضي للعود على صندوق كبريت افتراضي يمسكه في يده. وأمسك بالعود في بهجة بالانتصار ليرفعه عاليًا أمامي لأتفرس في اللهب الوهمي. كان من الطيب أني استطعت أن أستدعي في خيالي صورة احتراق جيدة بما كان كافيًا لأن أبتسم وأومئ في تقدير لطريقة تمثيل دانهيز، وسبب ذلك أن هناك كيميائيين اثنين آخرين أجريا أمامي عرضًا مشابهًا بلا كبريت، ليوضحا هذه النقطة عن جوهر هذا الفرع من المعرفة. قد يشعر الكيميائيون بأنهم لا يقدَّرون. ربما يظن الكثيرون من البالغين الذين نجوا أحياء من تعليم المدارس الثانوية أن الكيميائيين لهم جاذبية من نوع جاذبية التقرحات المصاحبة للبرد. إلا أن الكيميائيين يعرفون أنهم مع هذا كله يمكنهم الزعم بأن بروميثيوس[٢] هو نبيهم، وأنهم إذا لم يستطيعوا العثور على كبريت في جيوبهم، فإن هناك دائمًا نارًا في الداخل.

---

[٢] بروميثيوس: في الأساطير الإغريقية أن بروميثيوس سرق النار (العلم) من الآلهة للإنسان، وعاقبه زيوس كبير الآلهة بأن سلط عليه نسرًا يأكل كبده، وينمو الكبد ثانية ليتكرر أكله. (المترجم)

وما دمنا نتحدث في موضوع الأساطير والخيالات، فإن هناك شخصيتين أسطوريتين أخريين لهما علاقة بالخيمياء[٣] الخاصة بالكيمياء: إحداهما شخصية الفتاة «ذات الشعر الذهبي»،[٤] وقصتها تطرح بديلًا حزينًا للطابع التقليدي للكيمياء كوسيط كئيب. بالنسبة «لذات الشعر الذهبي»، فإن الدرجات القصوى من أي شيء وحدها ثبت أنها شاقة وغير مريحة على الإطلاق، فالدرجات القصوى من أي شيء لا تكون أبدًا مُرضية. الشيء الساخن جدًّا سوف ينتزع طبقة الأدمة السطحية عن لسانك، والإلكترونات من ذراتك؛ وفي حالة الشيء البارد جدًّا لن تستطيع أن تتذوق شيئًا. إذا كان الشيء صلبًا جدًّا، لن تكون حيًّا، أما إذا كان لينًا جدًا فأنت ميت بالفعل. الموطن البيئي المفضل عند ذات الشعر الذهبي، وسطها الثقافي الأمثل، هو الحل الوسط المتجانس، العالم الذي تقول عنه إنه «بالضبط مناسب». هذا عالم ملائم للأطفال، أطفال البشر مثل أطفال الدببة، عالم يتلاءم مع النمو، لتمثيل الذرات بالمقاس لتغدو جزيئات، والجزيئات لتغدو مركّبات، وحدات تغدو سلاسل، وسلاسل تغدو ثنيات، ثم طيات، فأنسجة، فأعضاء، وعيون، وأنوف وأفواه تصرخ. العالم الآمن للأطفال هو عالم من تنوع جزيئي هائل، حيث تزهر ملايين الجزيئات والمركبات، وحيث لا يُترك أي جزيء دون أن يطالب به أحد لفترة طويلة. عالم الكيميائي هو العالم الذي من حولنا، طبقة مدللة بدرجات حرارة لطيفة نسبيًّا، وضغط جوي يمكن التعامل معه، ووفرة من الماء السائل ليجلب الجزيئات معًا ويلين مسارها كالشحم.

---

[٣] الخيمياء: الكيمياء الأولية القديمة وكانت تهدف إلى تحويل المعادن الخسيسة كالنحاس إلى معادن ثمينه كالذهب، وتهدف كذلك إلى اكتشاف إكسير الحياة والشباب الدائم. وقد تطورت فيما بعد إلى علم الكيمياء الحالي. (المترجم)

[٤] الفتاة «ذات الشعر الذهبي»، قصة فولكلور إنجليزية عن فتاة صغيرة تدخل كوخ أسرة من الدببة في الغابة، والأسرة تعيش كالبشر وتتكون من أب وأم وجرو أو دب طفل. الأسرة في الخارج وذات الشعر الذهبي تستعمل ممتلكات العائلة وتنام في أسرتها وتأكل طعامها وتجد سرير الأم والأب إما لين جدًّا أو صلب جدًّا، وطعامهما إما بارد جدًّا أو ساخن جدًّا، أما سرير الطفل وطعامه «فمناسبان بالضبط». عند عودة الأسرة تنتهي القصة في قول بعقاب الفتاة وفي قول آخر بالعفو عنها. ومغزى القصة أنه ينبغي عدم الاعتداء على خصوصيات الغير وأسرارهم. (المترجم)

يقول رولد هوفمان: «لا توجد كيمياء تتحدث عنها فوق سطح الشمس. كل ما يوجد هناك هو ذرات وأيونات — ذرات صُدمت لتنفصل.»

أما على الأرض، تحت ظروفنا، فهناك الكثير من الكيمياء. لدينا ظروف من درجة الحرارة حيث يمكن للجزيئات أن تكون موجودة في ثلاث حالات مختلفة، جوامد، أو سوائل، أو غازات، وحيث يمكن بواسطة مُدخل الطاقة من ضوء الشمس، أو حرارة النار، أن تتغير هذه الجزئيات إلى جزيئات أخرى، إلى تجمعات مركّبة أخرى من الذرات. يقول هوفمان: «كم سيكون العالم مملًا لو كان فيه فقط ١١٥ فردًا منا، وكم سيكون العالم مملًا إذا لم يكن فيه غير ١١٥ من العناصر، ١١٥ نوعًا مختلفًا من الذرات، وتنتهي القصة. ولكن عالمنا لا يعمل على هذا النحو. نستطيع أن نبني من الـ ١١٥ عنصرًا جزيئات يقرب عددها من اللانهاية، من أي نوع نحتاجه، لننال كل التنوع البنيوي والوظيفي الذي يمكننا طلبه. يوجد في الجسم البشري مالا يقل عن ١٠٠٠٠٠ من الجزيئات المختلفة. وجدنا في النبيذ ما يقرب من ٩٠٠ نكهة متطايرة من مكوناته. الكيمياء هي الجزيئات. الكيمياء علم إنساني حقًّا.»

درجة الحرارة عند سطح الشمس تحوم حول ١٠٠٠٠ درجة فهرنهيت، وهكذا تكون الذرات في حالة صدمة، ولكنها لا تكون وحدها. هناك في كل مكان من حولها ذرات أخرى. معظمها من الهيدروجين، إلا أن هناك عددًا له اعتباره من ذرات الهيليوم وكذلك عدد متناثر من ذرات الكربون والنيتروجين والأوكسجين والنيون، والعديد غيرها. ما هو الفارق بين الذرات التي تتجمع على وجه شمسنا، وتلك التي تشكل وجه ابنتنا؟ ما الذي يجب أن تفعله الذرات مجتمعة معًا لتتأهل كجزيئات، ما هي كلمة السر التي يجب أن ننطق بها؟

يقول دونالد سادواي: «كلمة السر هي اسم الرابطة Bond، مثل كلمة بوند في اسم «جيمس بوند»،° الكيمياء تدور كلها حول صنع الروابط

° جيمس بوند اسم البطل في سلسلة أفلام مشهورة عن مغامرات الجاسوسية. (المترجم)

وكسر الروابط». يرتدي سادواي حلّة حيكت في إيطاليا لا ينالها عيب، وقميصًا أبيض متموجًا، وربطة عنق أنيقة زاهية معقودة بيد خبير في عقدة وندسور المزدوجة، وسادواي هكذا له هو نفسه طابع متميز على طريقة جيمس بوند. ويقول سادواي إن الجزيئات، هي والفئة الأوسع في مداها، أي المركّبات والأمزجة، لهي أكثر من أن تكون مجرد تجمعات لذرات تصادف أن كانت كلها في الجيرة نفسها، مثل مسافرين في قطار، أو قطع بلي زجاجي في صندوق. حتى تستحق الجزيئات أو المركبات الكيميائية الأسماء المخصصة لها يجب أن تكون الذرات المكونة لهما ملتصقة معًا بغراء كهرومغناطيسي. يجب أن تتشارك الذرات بأبعد إلكتروناتها عنها مع بعضها، أو لا بد أن تحس بقوة الشد الدائمة لذرة بجانبها لها شحنة مضادة. الكيمياء تدور حول الذرات وصنع الروابط وكسر الروابط. الروابط الكيميائية تصاغ بالقوى الكهرومغناطيسية، نتيجة التجاذب المتأصل بين الإلكترونات والبروتونات، ونتيجة تقلب الإلكترونات ورغبة هذه الجسيمات السالبة الشحنة في أن تتجه عند إحدى اللحظات إلى هذا البروتون، ثم تتجه في لحظة أخرى إلى بروتون آخر. تستغل الكيمياء تململ الإلكترونات لتحول عناصر الجدول الدوري التي تزيد عن المائة إلى مئات الآلاف من التشكيلات، وتكسر الروابط منفصلة مرة أخرى وتعيد ترتيب الأجزاء ثانية وتعيد ملأ أرفف العرض بسلع جزيئية جديدة ومحسَّنة. يزداد البياض نصوعًا! ويزداد السواد قتامة! روائح أحلى، مصفحات أقوى، بوليمرات بسلاسل أطول، إجابات أسرع وأبرع وأكثر حيوية. أيًّا كان مطلبك الكيميائي، أيًّا كان ما يجب أن يحوزه جزيئك من شكل أو حجم أو خاصية فإن هناك احتمالًا لأن تجده في مكان ما في صندوق اللعب المرصوصة جيدًا في عالم «ذات الشعر الذهبي» — عالم إن لم تكن أجزاؤه مجهزة الصنع مسبقًا على نحو طبيعي، فإنها تحضَّر في المعمل. يطلق رولد هوفمان على الكيمياء اسم «العلم المتخيل»؛ أما كلود بيرثولت عالم الكيمياء الفرنسي العظيم في القرن التاسع عشر فيعلن أنها فن. ويقول ستيفن ليبارد أستاذ الكيمياء في معهد «ممت»: «تكاد الكيمياء أن تنفرد وحدها بين العلوم بقدرتها على صنع

أشياء جديدة. إلى جانب دراسة العالم كما هو موجود، نستطيع أن نضم معًا توليفات من الجزيئات بطرائق لم نحلم بها أبدًا من قبل.» إنها شاشة كمبيوتر بلغتْ مرونتُها أنك تستطيع لفها مثل الصحيفة ودسها في جيبك؛ أو هي زجاج أمامي للسيارة ينظف نفسه بنفسه؛ شرايين صناعية لا تنسد بجلطة ولا يهاجمها جهاز المناعة؛ أدوية مضادة للاكتئاب تنهر اليأس دون ظهور للضحايا التقليديين من المواطنين المصابين بالسمنة والبرود. هذه هي المواد التي تُصنع منها أحلام الكيميائيين.

وكما يحدث في النوم وفي الفن، ليس من الواضح دائمًا من هو الذي يحلم ومن هو الحلم. يعمل فرانك ديسالفو أستاذًا للكيمياء في جامعة كورنيل، وهو يقول: «موضوع مجالي هو كيمياء المواد، وأحد الأمور التي لا نعترف بها أمام الطلبة الشبان هو مدى ما نحن عليه حقًّا من افتقاد وجود المفاتيح لحل الألغاز. الكثير مما ندركه يتفق أننا نقع عليه بالتجربة والخطأ، ولا نستطيع أن نتنبأ مسبقًا بما سنصل إليه. نحن فحسب لا نعرف قواعد المباراة لأكثر من حفنة من العناصر التي نعمل عليها». وهو يقول إنه من الناحية النظرية، فإن كل المادة اللازمة لبناء أي أداة نتخيلها، فقاعة زمكان تتحرك بأسرع من الضوء كما في مسلسل «رحلة النجوم»، أو وسيلة نقل، أو باروكة مثالية للرجال الصلع، كل هذه المادة موجودة في مكان ما من الجدول الدوري للعناصر. المطلوب هو اكتشاف مكان وجودها، ومن الذي ينبغي أن تقترن به وتحت أي ظروف يكون ذلك، بحيث يستمر اشتعال موقد بنزن المعملي في منتصف الليل. يقول ديسالفو: «لو كان كل فرد فوق كوكبنا عالِم في كيمياء المواد لاستغرق الأمر مع ذلك ألفية من السنين أو أكثر لفهم الجدول الدوري الفهم الجيد الكافي لأن نصنع كل ما نريد صنعه.»

الموضوعات الرئيسية في الكيمياء هي الجزيئات والروابط التي تربطها وتعيّنها. كما هو الحال مع جيمس «بوند» نجم المغامرات البريطاني المحبوب فيما يزيد عن عشرين فيلمًا، هناك أكثر من طريقة لما يكون عليه «البوند»، أو «الرابطة». هناك رابطة رقيقة طرية مثل القطة، وهناك رابطة صلبة

الساق، ورابطة غير ملتزمة، رابطة لا يكاد يكون لها وجود. نوع الرابطة التي تربط الذرات معًا في جزيء أو تربط جزيئًا بالآخر، هو الذي يفسر السبب في أن شبكات الكربون في الماس صلبة صلابة كافية لأن تبقى إلى الأبد أفضل صديق للفتاة، في حين أن سلاسل الكربون في طعامنا تتكسر من الأيض بمجهود متوسط، كما أن جزيئات الكربون عند القمة الجرافيتية للقلم الرصاص يمكن نقلها على الورق باستخدام ضربات خفيفة للغاية بالقلم. الروابط تضطرب، الروابط تهتز، الروابط مثل القواعد قد صنعت لكسرها.

أقوى وأبسط رابطة في الطبيعة، وإن لم تكن بأي حال ساذجة، هي الرابطة التساهمية التي تحدث عندما تقترن ذرتان وتتشاركان في اثنين أو أكثر من الإلكترونات لمجرد ما في ذلك من راحة ومتعة كالفرش الوثير. تنشأ الرابطة بين لاعبين في حالة متشابهة من الرغبة الاختيارية: قشرتاهما الخارجية لا تحتاجان حقًّا إلى إلكترونات إضافية، لكنها على أي حال فيها متسع للإلكترونات. الذرات المنفردة قادرة نظريًّا على الاكتفاء الذاتي من الوجهة الكهرومغناطيسية، ويكون عدد الإلكترونات ذات الشحنة السالبة التي تدور في مدارها عددًا يوازن عدد البروتونات الداخلية ذات الشحنة الموجبة. إلا أن مسارات المدارات أو القشور التي تنتقل الإلكترونات بطولها وهي تطوف حول الذرة قد صممت لتتسع لعدد معين من الجسيمات السالبة في كل قشرة، بصرف النظر عما يحتاجه بروتون معيّن في الذرة. وبعبارة أخرى، فإن قشور المدار تشبه كثيرًا الخزانة؛ تكون في أسعد حالاتها عندما تمتلئ.

الذرات التي فيها أماكن خاوية في القشرة إلى حد متوسط كثيرًا ما ينتهي بها الأمر إلى أن تقترن معًا، ويشبع كل منها توق الآخر الشديد بأن يتبادلا الإلكترونات التي في أقصى الخارج، يتبادلانها جيئة وذهابًا، وجيئة وذهابًا. وبهذه الطريقة تنال الذرات الإحساس بإشباع مدارها بدون أن تصبح رسميًّا مشحونة كهربائيًّا، كما كان سيحدث لو أنها التقطت الكثير من الإلكترونات في الوقت نفسه، أو لو أنها فقدت تمامًا إلكترونات مما يوجد

في القشرة الخارجية الممتلئة جزئيًا. أحيانًا توجد الإلكترونات المشتركة وهي أقرب إلى القشرة الخارجية لإحدى الذرتين، وأحيانًا تكون أقرب إلى السحابة التي تدور حول الذرة الأخرى، ولكن الأغلب أنها تظل ترفرف متذبذبة في مكان ما بين بين.

يقول رولد هوفمان: «نجد من ناحية أن الذرتين تريدان أن تكونا معًا، لأن إلكتروناتهما المشتركة تريد أن تحس بتأثيرات كلتا النواتين الموجبتين ومن الناحية الأخرى فإن النواتين لا تريدان أن تقترب إحداهما من الأخرى أكثر مما ينبغي. الحل الوسط للمسافة هو أن تكون بطول الرابطة، وأن تعمل الرابطة كنوع من زنبرك يربط الذرات معًا.»

قد يتشارك في هذه الرابطة التساهمية المطاطية ذرات من العنصر نفسه. مثال ذلك أن ذرتين من الهيدروجين كل منهما فيها إلكترون وحيد يدور في قشرة بنيت لتتسع لإلكترونين، هاتان الذرتان قد تجمعان جسيماتهما في رابطة تساهمية لتشكلا جزيئًا من (يد٢)، بينما نجد أن الأوكسجين الذي نتنفسه يتكون في معظمه من (أ٢)، سحب متطايرة كالريش تتكون من ذرات أوكسجين تقترن ثنائيًا بروابط تساهمية، وهي لا تتشارك في إلكترون واحد، وإنما تتشارك في زوجين من الإلكترونات لكل رابطة مشتركة.

وبديل ذلك أن تؤدي الرابطة التساهمية إلى أن تشبك معًا عنصرين مختلفين كليًّا ليشكلا ما يسمى بالمركّب. الهيدروجين وطفله الوحيد الإلكترون الواحد يمكن أن يتشابك مع الكلور، والكلور لديه سبعة من إلكتروناته السبعة عشر تدور حول قشرة خارجية مهيأة لثمانية إلكترونات، يتشابك الهيدروجين مع الكلور ليشكلا مادة كيميائية مألوفة هي كلوريد الهيدروجين، وهو غاز بلا رائحة خانق وكاوٍ، يستخدم في صناعة البلاستيك وفي عمليات صناعية أخرى كثيرة. النيتروجين فيه خمسة إلكترونات في قشرته الخارجية، والأوكسجين لديه ستة، وكلاهما مداره الخارجي يسع ثمانية إلكترونات، ويستطيعا ضم قواهما في أنواع شتى من التبادل. تتحد ذرة نيتروجين واحدة برابطة تساهمية مع ذرة أوكسجين واحدة فننال أوكسيد النيتريك (ن أ٢)، وهو غاز شفاف فعال وله تأثير سام عندما يوجد بكميات كبيرة ولكن الجسد

يستغله بحكمة لمهام مثل استرخاء العضلات، ومحاربة البكتريا، وإرسال إشارات في المخ، ويستغله كذلك في تدفق الدم إلى الأعضاء التناسلية أثناء الاستثارة الجنسية. هناك اندماج سحري آخر للنيتروجين والأوكسجين، حيث يمكن حث ذرتين من النيتروجين مرتبطتين برابطة تساهمية على أن تتآخيا في رابطة تساهمية مع وحدة أوكسجين، بما ينتج عنه الأوكسيد النتري (ن $_٢$أ)،[٦] وهو غاز حلو الرائحة وله تأثير نفسي نشط يجعل من طب الأسنان شيئًا لطيفًا، إن لم يكن حقًّا مثيرًا للضحك. المواد الكربوهيدراتية في غذائنا هي حشود بروابط تساهمية لذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين — كربون وماء — النسب والمواضع المضبوطة لكل عنصر في تنظيم معين تحدد ما إذا كانت المادة الكربوهيدراتية معقدة ومغذية أو سكرية ومثيرة للشكوك.

العناصر، كقاعدة، تكون أكثر استقرارًا وأقل تفاعلًا كيميائيًّا عندما تكون في علاقة بروابط وذلك بدرجة أكبر مما يحدث عندما لا تكون كذلك، ويرجع ذلك إلى السبب نفسه في أن الأفراد المتزوجين يشتهر عنهم أنهم مصدر ما في المجتمع من بورجوازية متزنة يعتمد عليها. عندما تكون متزوجًا فإن قدرة الاقتران لديك تكون مشبعة تقريبًا، وتعد «محجوزًا»، ولم يكن استخدام رمز الزواج على شكل خاتم، أي حلقة مغلقة، بلا معنى. وكذلك يكون الشركاء الكيميائيون المربوطون معًا: أجزاؤهما التفاعلية مشغولة من قبل ومن ثم ليست متاحة لعلاقات أخرى.

على أن الزواج بين الجزيئات لا يتطلب أحادية الزواج. الكثير من العناصر لها أكثر من خيار تفاعلي، أكثر من إلكترون واحد مخصص لأن يعيش في مدار نصف مملوء، ومن ثم فهو في وضع يسمح له بالاقتران برابطة تساهمية مع ذرة أخرى. هناك إذن عناصر كثيرة متعددة الزيجات بالطبيعة، ولكل عنصر منها حدوده الرومانسية، أي أقصى عدد من الشركاء الذين يستطيع أن يقترن بهم في الوقت نفسه. يعرف هذا الرقم بأنه

[٦] الأوكسيد النتري: غاز يستخدم كمخدر في طب الأسنان، ويسمى الغاز الضاحك لأنه يثير الضحك لا إراديًّا. (المترجم)

عدد تكافؤ العنصر (valency)، من الكلمة اللاتينية valentia، التي تعني «القوة» أو «السعة». كلما اقترب العنصر من ملأ كل الثغرات فيه، كان أكثر استقرارًا، وغدا أقل ضراوة كيميائيًّا. السبب في أن أوكسيد النيتريك مادة كيميائية سريعة الهياج هو أنه على الرغم من أن النيتروجين والأوكسجين المكونين له مرتبطين برابطة تساهمية، إلا أن كلًّا منهما ما زال لديه متسع لمزيد من الإلكترونات، وسوف يتشارك بسهولة في علاقات إضافات مكملة أو أعمال لصوصية صريحة. أوكسيد النيتريك له خفة ورشاقة بوجه خاص في سرقة الإلكترونات من ذرات الحديد في قلب جزيئات الهيموجلوبين وبهذا يعطل قدرة الهيموجلوبين على نقل الأوكسجين خلال الجسم كله.

أما عندما نقارن بذلك حالة الأوكسيد النتري، فإن كل الإلكترونات الثلاثة الخارجية المتاحة في النيتروجين تكون مشتركة بالكامل بعلاقات تساهمية وليست راغبة في أي مداعبات أخرى كيميائية عابثة، مما يجعل الغاز مركبًا حميدًا إلى حد معقول عندما يستخدم باعتدال. ومع ذلك فإن استمرار وجود توقعات التفاعل عند الطرف الأوكسجيني من الائتلاف يعني أن الأوكسيد النتري يستطيع أيضًا أن يوقع الاضطراب في أداء الهيموجلوبين، وإذا استنشقت الغاز لزمن أطول مما ينبغي فستعاني من نقص تدريجي في الأوكسجين حتى يصل بك الأمر إلى أن تضحك ضحكتك الأخيرة.

النيتروجين وحده لديه القدرة على الاستقرار إلى أقصى مدى. عند غياب أي ضغط لأن يرتبط النيتروجين برباط مهجن ثقافيًّا مع الأوكسجين، أو الهيدروجين، أو ما أشبه، فإن ذرتين من النيتروجين سيفيان بسهولة كل منهما بأي حاجة عند الآخر، وذلك بأن يتشاركا بكل الأزواج الثلاثة من إلكتروناتهما المتاحة. هذا الثنائي النيتروجيني المرتبط ارتباطًا ثلاثيًّا يؤدي إلى صنع جزيء قوي وغير متفاعل إلى حد استثنائي، ويظل مستمرًا لفترة طويلة، وهذا هو السبب في أن النيتروجين السائل هو المادة الكيميائية المختارة عندما نخزن لزمن طويل سلعًا «حيوية-طبية» ثمينة كالدم، والمني، والأجنة المخصبة، والأدلة التي تُجمع من مسرح الجريمة. يتكون ما يقرب من ٧٨ في المائة من جوِّنا من غاز نيتروجيني مرتبط ثلاثيًّا، بالمقارنة بنسبة ٢١ في

المائة مخصصة للأوكسجين؛ على أنه في حين أن رئتنا قد صممت لاستخلاص هذا الأوكسجين من الهواء ووضعه للعمل في كل خلية من الجسد، وفي حين أننا غير قادرين على أن نعيش من غير أوكسجين لأكثر من دقائق قليلة لكل مرة، فإن النيتروجين الذي نستنشقه لا يفيدنا فسيولوجيًّا، ونحن إما أن نزفره في التو أو نخرجه لاحقًا كفضلات. النيتروجين الذي نحتاج إليه بالفعل لخلايانا ودنانا، نحصل عليه من الطعام، حيث يصلنا النيتروجين في شكل سُمي تسمية لائقة بأنه في حالة «تثبيت» من أجلنا، بمعنى أنه متحد مع الأوكسجين والهيدروجين بواسطة كائنات دقيقة في التربة، هي كائنات طيعة لينة العريكة؛ «تثبت» هذه الميكروبات النيتروجين من الهواء وتغذي به النباتات، وهذه بدورها تغذينا به أو تغذي به الحيوانات التي نأكلها. أيًّا كان المكان الذي نستطيع أن نقتنص منه هذا النيتروجين من سلسلة الغذاء، فإن هذا الشكل من النيتروجين المدجّن الجزيئات ضروري لاستمرار بقائنا، ومن الممكن أن يقال عنا إننا كلنا لدينا تثبيت للنيتروجين.

إلا أن ما يغذى الحياة، يمكن أيضًا أن يبذر الإبادة، فقد يقترن النيتروجين مع عناصر مثل الأوكسجين أو الهيدروجين، ولكنه عندما تتاح له الفرصة سيحبس نفسه في رباط ثلاثي مع مواد أخرى من نوعه يكاد يكون رباطًا خاملًا. لو أخذنا مثلًا مركبًا مثل النيتروجلسرين، وأوقعنا الاضطراب في تركيبه الكيميائي، فسوف تنطلق مجددًا ذرات النيتروجين وتشكل سريعًا تحالفاتها التي تخشى العناصر الغريبة، وتنطلق في هذه العمليات مقادير كبيرة من الطاقة — وهذا هو السبب في أن معظم المتفجرات تحوي نيتروجينًا.

تدور الكيمياء حول الجزيئات، وكلمة «جزيء» مثل الكثير من المصطلحات العلمية لها تعريفاتها الدقيقة وتعريفاتها العارضة. المعنى الشديد التدقيق للجزيء هو أنه مجموعة من الذرات ترتبط معًا بروابط تساهمية، بالتشارك في أزواج من الإلكترونات. لكن حتى العلماء يستغنون أحيانًا عن الرسميات ويسمون أي نوع من المواد مرتبطة كيميائيًّا جزيئًا، ويشيرون هكذا في ارتجال إلى جزيئات ملح الطعام مثلًا، أو جزيئات بروميد

المغنسيوم في زجاجة لبن المانيزيا.[7] الحقيقة أن كلوريد الصوديوم، وبروميد المغنسيوم وكلوريد الكالسيوم وما شابهها، ليست جزيئات، وإنما مركبات أيونية، وعلى الرغم من أن البطل هنا لا يزال هو الرابطة (بوند)، إلا أنها ليست شون كونري ممثل جيمس «بوند». الرابطة الأيونية تجلب لنا التوابل، والحصى، وقشر البيض، وفوار ألكا-سلتزر، والكثير من منتجات التنظيف المنزلية، ومجموعة منتخبة مذهلة من أدوية العلاج النفسي، وهذه الرابطة الأيونية أكثر صلابة وصرامة في الربط من الرابطة التساهمية، وهي أقل منها مرونة، وأكثر قابلية للتنبؤ. إنها في قالب طوب، أو صخرة، أو في ملح الأرض. الرابطة الأيونية هي روجر مور.[8]

على عكس الرابطة التساهمية التي تستطيع أن تربط معًا ذرات من العنصر نفسه أو من عناصر مختلفة، نجد أن الرابطة الأيونية تستوعب فقط ما هو متباين وغير متشابه. سبب ذلك مغروس في المصطلح: الرابطة الأيونية رابطة بين أيونات، أو ذرات مشحونة كهربائيًّا. إنه التجاذب بين السالب والموجب، الذرة السالبة الشحنة، تكون محمّلة بإلكترون واحد أو أكثر يزيد عما يتطلبه ما تحويه من بروتونات، وهذه الذرة السالبة تشعر بانجذاب إلى الذرات الموجبة الشحنة التي يكون عدد الإلكترونات فيها أقل كثيرًا مما يفي برغباتها النووية. بعض العناصر لديها نزعة كبيرة لأن تكون أيونات سالبة، والبعض الآخر فيه ميل لأن يُنزع عنها إلكترون لتغدو موجبة، ولكن لا يوجد أي عنصر يتعرض لأخطار المصيرين المتأينين معًا. عندما يسعى أيون موجب إلى أيون سالب، علينا أن نعرف أنه لا توجد فرصة لأي ممارسة جنس بين المحارم.

العناصر الأكثر تعرضًا لفقدان الإلكترون هي تلك التي لديها إلكترون وحيد أو ربما اثنان في قشرة خارجية قُصد بها أن تكون مهيأة للحشود. هناك طبقات داخلية عديدة من قشرات مدار الإلكترونات تفصل تلك الأبعد

---

[7] لبن المانيزيا: سائل أبيض من هيدروكسيد المغنسيوم يستخدم كمضاد للحموضة ومسهل. (المترجم)

[8] روجر مور بطل آخر لأفلام جيمس بوند بعد شين كونري. (المترجم)

إلى الخارج عن الشحنات الموجبة في النواة. فما هي إلا ضربة خاطفة، أو هبة ريح سريعة، أو غمزة من جار، وفجأة يضيع الإلكترون.

على عكس ذلك نجد أن العناصر التي يرجح كثيرًا أن تتحول إلى السالب هي تلك التي تكون قشراتها الخارجية عمليًّا ممتلئة، ولكن هناك متسع لإلكترون واحد أكثر. لا ريب أن هذا العنصر يستطيع، بل وكثيرًا ما يفعل، أن يدخل في مشاركة مؤقتة برابطة تساهمية، ولكن هناك دائمًا إغراء أي إغراء بأن يمضي العنصر لما هو أبعد: إلكترون واحد فقط، شحنة إضافية صغيرة، ويصبح المنزل كله مشغولًا حقًّا، وكم يكون هذا مفيدًا صحيًّا، ومشبعًا جماليًّا. مجرد قطعة نعناع صغيرة واحدة وأخيرة بعد العشاء ...

هيا ننظر إذن في أمر السيمترية الجميلة للملح: لدينا في أحد الجانبين الصوديوم، معدن لين له البريق الفضي لحراشف سمك الرنجة. للصوديوم أحد عشر إلكترونًا، اثنان في المدار بأقصى الداخل، وثمانية في المدار التالي، وفي المدار رقم ثلاثة بحّار وحيد له نزعة واضحة للوثوب من السفينة. نرى عبر الممر الكلور، غازًا أصفر كاوٍ يميل إلى الخضرة. كما ذكرت فيما سبق، قشرة الكلور الخارجية ينقصها لإشباعها إلكترون واحد، وهكذا فإن الكلور يميل في خسة إلى سرقة الإلكترونات أينما يستطيع. نحن لا نستطيع أن نأكل الصوديوم نقيًّا، وينبغي ألا نستنشق الكلور نقيًّا، فكلاهما سام. أما عندما نضع الاثنين معًا، فسنجد العرض ممتعًا. في تفاعل متقد تضمر ذرات الصوديوم وتلقي عن كتفيها إلكتروناتها الزائدة إلى كفّي نظرائها من ذرات الكلور. تغدو ذرات الصوديوم الآن في العينة منقوصة الإلكترونات ومتأينة إيجابيًّا. في حين أن ذرات الكلور تملأ مداراتها بالكامل فتتحول إلى أيونات سالبة (وهذا يكفل لها تغيير اسمها إلى «الكلوريد»). والآن فإن قبيلتي العنصرين تحتاج حقًّا إحداهما إلى الأخرى. تتزايد الآن أيونات الصوديوم والكلوريد تقاربًا ليس بواسطة رغبة توسطية لملأ قشراتها، وإنما عن طريق قوة شد أقوى كثيرًا هي الجذب الكهرومغناطيسي.

لدينا في الوقت نفسه ضغطان متنافسان هما: شد التجاذب الذي يحس به الأضداد أحدهما نحو الآخر، ثم إحساس التنافر بين الأيونات

ذات الشحنة المتماثلة. نتيجة ذلك أن تستقر الأيونات سريعًا في نمط تبادلي منتظم لذرات الكلوريد والصوديوم. تتكدس الأيونات مرتبة في الأبعاد الثلاثة وكأنها تكوين متوازن من البرتقال والليمون الهندي. هذه الصفوف الذرية المتكررة الأنيقة هندسيًّا هي بلورات — بلورات الملح. ما كان قبل ذلك مادتان لا يمكن أن تغذي بهما ولا حتى مدرستك القديمة للاقتصاد المنزلي بعد أن أعطتك درجة (ج) لأنك خيطت جيب مئزرتك (مريلتك) مقلوبًا، هاتان المادتان قد تكثفتا الآن في تابل ثمين للغاية إلى حد أن قامت حروب بسببه، وكان الجنود يُمنحون النقود خصيصًا لشرائه — ومن هنا أتت كلمة المرتب الإنجليزية Salary مشتقة من الكلمة اللاتينية Salarius، راتب للملح. لو أنك نظرت إلى بعض ملح الطعام تحت الميكروسكوب، فسترى لا غير كيف تبدو حبيباته رقائق هشة بدقة نمط فيثاغوري، مثل نثار بين قوالب زجاجية في فن الديكو.[9] دعنا لا ننسَ أن كل بلورة من هذه البلورات هي طاقم ثنائي من بلايين البلايين من أيونات الكلور والصوديوم، حيث يوجد في كل حبيبة عدد من الذرات يفوق عدد النجوم في مجرة درب التبانة. والآن، هلا مررت لي الملح من فضلك؟

على أن هناك نوعًا آخر من الرابطة الذرية هي الرابطة الفلزية، حيث تكاد تكون هناك مشاركة اشتراكية للإلكترونات بين ذرات كثيرة، كما يحدث مثلًا في قطعة سلك من النحاس، أو في خاتم الزواج الذهبي، أو عينة لينة من الصوديوم قبل التقائه بالكلور. المادة المترابطة معدنيًّا نجد فيها أن الإلكترونات في أقصى الخارج تسبح فيما حولها فيما يسمى غالبًا «بحر الإلكترونات»، فتنجذب أولًا إلى إحدى الذرات، ثم تنجذب إلى أخرى، وهكذا تكون سيولتها هي السبب في قدرة المعدن على توصيل التيار الكهربائي.

الروابط التي تربط الذرات والأيونات معًا تكون مثل مادة للغراء قوية إلى حد بعيد، ونتيجة ذلك — كما كتب رولد هوفمان — أنه في الظروف الطبيعية غير الشمسية، «تترابط الذرات، وتتحرك كمجموعة». وهي إما

---

[9] الديكو أسلوب في الأداء الفني ظهر في باريس وانتشر في أوروبا وأمريكا في عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. (المترجم)

أن تترابط تساهميًّا كجزيئات، أو تترابط أيونيًّا كأملاح، أو تترابط حديديًّا (بسخرية ironically) كمعادن. هناك، فيما يتجاوز الاتحاد في عصبة متماسكة، التجمعات الأكبر، تجمعٌ لمجموعات مفرطة الطول من الجزيئات أو المركّبات الأيونية التي تتلاصق معًا بواسطة رابطتين من نوعها. هاتان الرابطتان الكبيرتان الغليظتان تكونان أضعف من تلك الروابط التي تزوج الذرات في جزيئات، إلا أنها قد ثبت أنها لا غنى عنها للحياة، والسفن، وشمع الأختام، وتطلقان للقلم الرصاص العنان.

إحدى الروابط الهامة التي تؤدي إلى روابط مهجنة ما يسمى بالرابطة الهيدروجينية. اسم هذه الرابطة اسم تعس، ليس فقط لأنه يبدو على نحو غير مريح قريبًا من اسم «القنبلة الهيدروجينية»، وإنما لأنه يشير أيضًا إلى وجود رابطة تربط الهيدروجين بذرات أخرى، مثل ربطه بالأوكسجين في الماء «يد٢أ»، أو الربط بالكلوريد في كلوريد الهيدروجين. ولكن الرابطة في هاتين الحالتين هي رابطة تساهمية، وهذه أكثر جدية بكثير من مجرد رابطة هيدروجينية. الحقيقة أن أحسن تمثيل لرابطة الهيدروجين هو بالصورة الهزلية الحادة الصوت لفأر الأفلام الكرتوني «ميكي ماوس»: رأس كبيرة مستديرة في قمتها أذنان مستديرتان. ميكي ماوس هنا جزيء من الماء، حيث الرأس تمثل الأوكسجين، والأذنان تمثلان ذرتي الهيدروجين المرتبطتين تساهميًّا بالأكسجين، نستطيع لحسن الحظ أن نستغني عن تفاصيل ملامح الوجه حتى نتجنب خطر التعدي على حقوق التأليف والنشر.

يثبت في النهاية أن أزواج الإلكترونات التي تربط كل أذن من الهيدروجين مع جمجمة الأوكسجين ليست متشاركة تمامًا على نحو عادل صريح. فهي تميل إلى أن تقضي وقتًا أطول بعض الشيء وتكون أقرب إلى نواة الأوكسجين أكثر من قربها إلى البروتون في اللب من أي من ذرتي الهيدروجين. نجد نتيجة لذلك أن أذني جزيء ميكي ماوس لهما شحنة موجبة ضئيلة: فبروتوناتهما لا توازن دائمًا موازنة كاملة بسحابة دائمة من شحنة سالبة. في الوقت نفسه، نتيجة لأن ذرة الأوكسجين تنال نصيبًا أكثر مما تستحق من اهتمامات الإلكترونات المشتركة، سنجد أن النصف الأسفل من وجه الفأر

عليه ظل من شحنة سالبة متواضعة كالذي يظهر عند الساعة الخامسة. يتم استقطاب الجزيء؛ فتوزيع الشحنات فيه يعطي له اتجاه، اتجاه للأعلى وآخر للأسفل.

ماذا يحدث إذا وُضعت مجموعة كبيرة من فئران ميكي ماوس المستقطبة كلها معًا في مكان واحد — مثلًا في بحيرة ميتشيجان؟ ستنجذب ذقن أحد الجزيئات برفق تجاه أذني جزيء آخر، بما يمنح الماء شكلًا عامًّا واندماجًا وتكاملًا وهذا يجعل الفأر ميكي فأرًا جبارًا إلى حد بعيد. عن طريق تشابك القمم والقيعان، مثل تشابك قطع ألغاز الصور المقطّعة، تكون روابط الهيدروجين السبب في تماسك الماء تماسكًا استثنائيا، وفي نزعة قطراته لأن تتلاصق معًا، وتتابع إحداها الأخرى في إخلاص مهما غامر قوادها الكشافون. الروابط الهيدروجينية قوتها عُشر واحد تقريبًا من قوة الروابط التساهمية، إلا أنها تعوض ما ينقصها من قوة عن طريق مرونتها. تستطيع النباتات عن طريق الروابط الهيدروجينية أن تشرب الماء، بل يمكن حتى إطفاء غليل قمم أشجار الخشب الأحمر السامقة. تتسلل خيوط رفيعة من المياه من التربة إلى أعلى، ثم خلال النسيج الوعائي للنبات، لتفلت كبخار ماء من خلال مسام الأوراق. وعندما يتبخر الطرف المتقدم لعمود المياه إلى الهواء، تجذب روابط الهيدروجين إلى أعلى مزيدًا من السائل من أسفل.

على أن الروابط الهيدروجينية للماء زلقة وسوف تنزلق جانبًا لتقلب الأمور عندما يأتي في الطريق شيء ما أكثر سمكًا. يسمى الماء بأنه المذيب الشامل لأنه ليس هناك إلا مواد معدودة ثمينة لا تذوب في أحضانه. عندما نقلّب ملعقة ملح في الماء سوف تضع فئران الماء الجبارة نفسها بسرعة بين البلورات المفردة للملح، وتغري الآذان الموجبة أيونات الكلور السالبة، بينما الفكوك السالبة تحتال على الصوديوم، ويستمر ذلك حتى تتحلل حبيبات الملح إلى ضباب رقيق. لو أعطينا جزيئات الماء المستقطبة فرصة زمن يقرب من ٦ ملايين سنة، فسوف تعتصر من الحجر جَمالًا أحمر كالدم، وتشقه لعمق ٦٠٠٠ من الأقدام واتساع ٢٧٧ من الأميال كما حدث في هضبة أريزونا الشمالية، من خلال الحجر الجيري، والحجر الرملي،

والطّفل الصخري الغني بالحديد، حيث حفرت واديًا عميقًا يعرفه العالم بأنه الوادي العظيم Grand canyon.

على أن الروابط الهيدروجينية لا تقتصر على الماء وحده. فهو ينشأ في حالات أخرى عندما يدخل الهيدروجين، أخف العناصر، في اندماج تساهمي مع عنصر أضخم، مثل النيتروجين، وتبدي الإلكترونات المتشاركة ولاءها تجاه نواة الهيدروجين الشريك. نتيجة عدم الاتساق هذا، نجد أن جزيئًا متعادلًا كهربائيًّا في إجماله، سيتخذ شحنة ضبابية مشوشة من نوع مشابه لشحنة الفأر ميكي حول الأذنين والذقن.

أحد العوامل الأخرى للتجانس بين الجزيئات هو ما يسمى بقوى فان درفالز، وهي على اسم الفيزيائي الهولندي الذي اكتشفها وعيّن خصائصها رياضيًّا في أواخر القرن التاسع عشر. على الرغم من الطول المرعب لاسم قوة فان درفالز فإنها أضعف كل الروابط، كما يمكن أن يشهد على ذلك أي شخص ترك درسًا لتعلم صنع الفخار غارقًا في الطمي في احتفال بالانقلاب الشمسي؛ رابطة فان درفالز شدتها أقل من ربع شدة الرابطة الهيدروجينية. ومع ذلك فإن السلوك اللطيف له مزاياه، رابطة فان درفالز ضرورية لتكامل جوامد وسوائل كثيرة، ولخصائص مدى واسع من شتى المواد التي نعتمد عليها. في حين أن الإلكترونات في الروابط الأخرى، بما فيها رابطة الهيدروجين، تميل إلى أن تعرف مكانها وأن تضفي على الجزيء أو المركب الناتج تنظيمًا ثابتًا إلى حد بعيد من الشحنات السالبة والموجبة، نجد أن قوة فان درفالز تعرض في خزانة عرضها المهارات المرتجلة للإلكترون.

الإلكترونات بالطبع لا تحب الإحساس بإلكترونات أخرى، وهذه الكراهية الفطرية تفسر السبب في أننا نستطيع أن نلمس أشياء مبنية من ذرات تقرب من اللاشيء ولا نمر مباشرة من خلالها. الإلكترونات في الوقت نفسه تنجذب إلى البروتونات — الجسيمات الموجبة في نواتها الخاصة بها أو في أي نواة في الجيرة. تنطبق هذه النزعات نفسها على الإلكترونات في البيئة المشتركة لأحد السوائل أو الجوامد، عندما تكون الإلكترونات جزءًا من فريق من الجزيئات أو الأيونات. البروتونات النووية أمر طيب؛ الإلكترونات الأخرى

أمر سيئ. النتيجة التي تترتب على هذا التفضيل الأساسي هي أن الذرات والجزيئات عندما تكون في تقارب وثيق. فإن إلكتروناتها تميل إلى أن تنقل نفسها إلى جانب من سحابة بيتها، متجنبة المناطق التي تتوفر حولها الإلكترونات، وساعية إلى بقع ذروة الجذب البروتوني. الجزيئات إذن تصبح دائمًا مستقطبة استقطابًا لطيفًا، أو مشحونة بصورة غير متسقة، وهذا التنظيم الهادئ في طبقات للشحنات السالبة والموجبة يساعد على ربط مواد كثيرة معًا. وإنها أخوية هشة، فالإلكترونات لا تتشارك رسميًّا بين الذرات، كما تكون في الجزيئات أو الأيونات، ولا هي ملتزمة بمداراتها غير المتوازنة، كما هي في تصميم فأر ديزني لجزيء الماء.

ومع ذلك قد تكون قوة فان درفالز أحيانًا القوة الوحيدة التي تمسك معًا أجزاء كبيرة من المادة. ومثال ذلك أن طَفل الخزف يتكون من طبقات من ذرات متباينة — سليكون، وألومنيوم، وأوكسجين، وهيدروجين، وكالسيوم، ونيتروجين، وحديد وربما نثار من الكوبلت، والنحاس، والمنجنير، والزنك. تكون الذرات داخل كل طبقة مربوطة معًا بروابط مقنعة تساهمية وأيونية. أما فيما بين الصفحات فلا يوجد غير قوة فان درفالز. هذا هو السبب في أن من السهل جدًّا أن نبسط بعضًا من المعجون على أطراف الأصابع؛ كل ما فعلته بما التقطته هو أنك اعترضت طريق التجاذب العرضي بين صفحات من جسيمات طَفل مستقطبة استقطابًا لطيفًا. على أن سلامة وتكامل الروابط الجزيئية نفسها تظهر بوضوح عندما تناضل لتزيل الطفل الدقيق الزلق من أطراف أصابعك، وتكتشف أن من الصعب جدًّا أن تفككه أو تتخلص منه بعيدًا. ربما تجد بعد ذلك بساعات أنك لا تزال تشعر ببقايا زلقة تتشبث بكل ثنية — جزيئات الطَّفل المتخلفة التي لا نستطيع إزالتها إزالة أكيدة إلا بكسر روابطها التساهمية بمنظف قوي أو مذيب كيميائي.

قلمك القياسي المعتاد الذي تؤدي به امتحانك يعطي مثلًا آخر للصوت السريع لطقطقة فان درفالز. القلم اسمه القلم «الرصاص»، ذلك أنه ظل يُعتقد لزمن طويل أن الجرافيت نوع لين من الرصاص، ثم أدرك الكيميائيون أنه ليس كذلك، وإن كان اسم القلم الرصاص حتى بعد وقت إدراكهم لذلك

قد حُفر عميقًا بالفعل في معجم المدارس، وهكذا فإن القلم الرصاص ليس رصاصًا على الإطلاق، ولكنه من الجرافيت — ما لا حصر له من طبقات ذرات كربون تتكدس إحداها فوق الأخرى، بما يشبه إلى حد ما الطبقات الدقيقة النسج لحلوى «التوفي» المكرملة وهي داخل قضيب حلوى لينة. ذارت الكربون في الداخل من كل طبقة جرافيت تتماسك تساهميًّا في أنماط بلورية متكررة، ولكن قوة فان درفالز هي وحدها التي تربط كل طبقة بتلك التي فوقها والتي تحتها. عندما تضغط طرف قلمك لتملأ شكلًا بيضاويًّا فإنك تزيل طبقة أو اثنتين من بلورات الكربون بعيدًا عن سطحها الكبير.

من كل هذا المدى الواسع من الروابط يمكن حشد جميع أمور الحياة مواقعها. الروابط الأيونية تميز الكثير من المشاهد الخلوية المتألقة التي نخطو من فوقها نحن وإطارات عجل سياراتنا المقواة بالصلب — الجبال، والتلال، والصخور، والرمل، وصدف شاطئ البحر المتناثر، والشعب المرجانية في الأسفل. تميل الجوامد الأيونية إلى أن تكون صلبة، وتترابط روابطها الأيونية معًا بقوة بحيث لا يمكن بسهولة تنحيتها. هذه الصلابة تجعل الجوامد الأيونية مثالية في مهام حمل الأثقال: هل هناك أي طريقة لبدء بناء جسر أفضل من أن يكون ذلك ببناء بضع بنى خرسانية ضخمة تربط بينها روابط أيونية، وهل هناك أي طريقة لتمهيد طريق جانبي أفضل من استخدام مركب أيوني مثل الأسمنت؟ هياكلنا العظمية أيضًا مصنوعة جزئيًّا من مواد صلبة أيونية، وتسلسلات شديدة التشابك من الكالسيوم، والفوسفور، وذرات أخرى. وعن طريق العظام تشبثنا بمخالبنا خارجين من المستنقع؛ أي أننا نحمل في داخلنا المراحل التي مررنا بها في غضون ذلك.

على أن الجوامد الأيونية لن تصل بك إلى أبعد من ذلك، وتميل قوتها إلى أن تكون هشة. يمكنك أن تضغط عليها وتجد أنها تتماسك بقوة، ولكنك لو لفقتها عدة لفات قوية، أو حتى وجهت لها ضربة واحدة سريعة بالمطرقة، فسيؤدي ذلك إلى تفجّر روابطها ممزقة وينهار القصر البلوري. ولهذا السبب تدفن البوابات الضخمة تحت الأرض، لتكون مستقرة؛ فقد يؤدي جذر شجرة يبرز في غرور إلى أن يغضن رصيفًا للمشاة على نحو سيئ

حتى أن سطحه ينشق إلى نصفين؛ التواء الكاحل قد ينتهي بكسر العظمة. لحسن حظنا أن عظامنا مثبتة بطبقة أسمنتية خفيفة من البروتينات، يضفي على هذه العظام مرونة وطوق مقاومة أكثر مما لو كانت قد صنعت فقط من أعمدة أيونية. ومن حسن الحظ أيضًا أنه تقع من تحت الغشاء الخارجي الهش لعظامنا شبكة من نسيج للتجديد يستطيع أن يولّد خلايا عظم جديدة، وأن يسد الشقوق ويجعل الكسور تلتئم، وأن يصنع لأطرنا الفقارية ما لا يمكن صنعه للجامد الأيوني لقشرة البيض: فهو يضم أجزاءنا معًا ثانية.

معظم أنسجة جسمنا تتكون من مركبات بروابط تساهمية وليست أيونية — أي من جزيئات وليس من أملاح. نحن بالطبع في حالة إرواء وافر بالماء، ويمكننا أن نرجع إلى جزيئات الماء ٦٠ في المائة على الأقل من وزننا، أو ما هو أكثر من ذلك لو كان الواحد منا من المشاة في مانهاتن ويرى أن هناك حرجًا بالغًا في أن يحاول التسلل من وراء ظهر رئيس الندل إلى إحدى دورات المياه في مطعم وقد كتب عليها «للعملاء فقط»، ويصرخ به الماء هيا أخرجنا — وأخيرًا! يا للراحة. والجزء الأكبر مما يتبقى من الجسم يفسر المقولة التي تروجها روايات الخيال العلمي عن أن البشر وحدات كربون تنسخ نفسها: ما يقرب من نصف وزننا الجاف يتكون من الكربون. قد يكون الماء مذيب الكون، ولكن الكربون هو الشريط اللاصق للحياة. تتأسس كل خلية وكل مكونات الخلية على الكربون. أينما تتخذ موقعك فوق شجرة الحياة فستحوي الكربون بحكم طبيعة الحال، بل إن شجرة الحياة نفسها كربون بحكم طبيعة الحال، وينطبق هذا على البكتريا، والأميبا، ونبات الحزاز، وعث الغبار، والدودة الدبوسية، وأتباع المذهب التكويني. بل حتى الفيروسات، التي يرى الكثيرون أنها أقل من أن تُمنح شهادة بأنها حية، حتى هذه الفيروسات تحوى الكربون كجزء من تكوينها الوراثي التي تحملها هنا وهناك من عائل إلى آخر. لا عجب أن يعمل نصف الكيميائيين في أبحاث في مجال الكيمياء العضوية، وهو مجال لا علاقة له بصناعة الأغذية الطبيعية النقية ولكنه بدلًا من ذلك دراسة للمركّبات التي تحوي الكربون.

نحن فقط وحدات تتأسس على الكربون لأن الكربون يؤدي إلى صنع الفئة المناسبة بالضبط من الجزيئات. الكربون قوي، وواسع الحيلة، ومرن، واجتماعي. القشرة الخارجية للكربون فيها أربعة إلكترونات وأماكن خالية للإيجار لأربعة إلكترونات، والكربون هكذا يلائم ملائمة فائقة الروابط الجزيئية. وهو يتعاون بسعادة مع كل ممثل تقريبًا في الجدول الدوري، فيما عدا الهيليوم والنيون والعناصر الأربعة الأخرى النبيلة،[١٠] التي سميت هكذا بسبب رفضها المتعجرف للارتباط كيميائيًّا بأي شيء. إضافة إلى ذلك نجد أن الكربون لا يوجد ما يوازيه بين العناصر في قدرته على الانضمام إلى نفسه إلى ما يقرب من اللانهاية، مكونًا سلاسل من الكربون وأنشوطات من الكربون، وتفرعات للكربون كشوكة الطعام وأسطح عريضة من الكربون، وكربون في شكل «كرات بكي»[١١] كالكرات المطاطية. مهما كان الشكل الذي تحتاجه ليناسب أي جزء من الخلية أو من الإنزيمات، فسيكون أفضل الاحتمالات لتشكيله أن يكون ذلك باستخدام إطار كربوني. وبالإضافة إلى ذلك، الرابطة بين ذرتين من الكربون هي إحدى أقوى الروابط المعروفة، أقوى كثيرًا من الرابطة بين ذرتين من السليكون، وهو عنصر يشترك فيما عدا ذلك، في أشياء كثيرة مع الكربون. تساعدنا قوة رابطة الكربون في تفسير السبب في أنه أساس الحياة: نحن نحتاج الآن إلى استقرار الجزيء، كما كنا نحتاج إليه حقًّا فيما مضى عندما كانت الحياة جديدة والعالم مكانًا أكثر خشونة مما هو عليه الآن. وفي الوقت نفسه نجد أن رابطة الكربون في الظروف العادية تستطيع أن تنحني، وترتد كالزنبرك، وتتجعد، ومن هنا تكون قدرة جزيئات الكربون على أن تنظم نفسها كخواتم، وأقفاص، وملفات. الكربون صالح مثل «ذات الشعر الذهبي» فهو يصلح لبناء جزيء

---

[١٠] الأرجون، والكربون، والزينون، والرادون. (المؤلفة)

[١١] كربون «كرات بكي»: جزيء كربون شكله كالكرة الجوفاء وتنظيم ذراته يشبه شكل الإطار الخارجي لكرة القدم المطاطية. يحوي كل جزيء منه ٦٠ ذرة كربون. وقد سمي على اسم مهندس أمريكي مشهور هو بكمنستر فولر ومن أشهر أعماله تصميم قبة جيوديسية في معرض مونتريال بكندا، فسمي هذا النوع من الكربون الذي يشبه القبة المجوفة بأنه بكمنستر فولرين ويختصر هذا الاسم الطويل إلى كربون «فولرين» أو كربون كرات «بكي»، وبكي اختصار بكمنستر. (المترجم)

دنا اللولبي المتعرج، ومن ثم فإن العمود الفقري السكري للولب المزدوج، وكذلك الحروف الكيميائية المفردة للكتابة التي تتشكل منها شفرة دنا، كلها مكربنة من أولها إلى آخرها.

وفي حين أن الأمر قد يكون مجرد توافق بالصدفة، إلا أن هناك ما يؤدي إلى الشعور بالرضا بصدد نوع الحجر الثمين الذي نضع يدنا عليه نحن أوعية الكربون قبل أن نصنع نسخًا كربونية قليلة لأنفسنا: إنه الماس. لعله لا يوجد ما يؤكد العبقرية الكيميائية للكربون أفضل من المدى الواسع للخيارات التي يمكن أن يتحد معها، ابتداء من صيغة الجرافيت القاتم الزلق القابل للكشط، عند أحد أقصى طرفين، ووصولًا في الطرف الآخر إلى ضوء النجم المتحجر الماس نصف الشفاف، الساحر، المتصلب، أصلب مادة معروفة، فيما عدا قلب الإنسان عندما يصبح باردًا.

ما الذي يؤدي إلى الاختلاف هكذا، بين الكربون كمادة زلقة للتليين، مادةٍ يمكن أن ترشها في الأقفال التي توقفت عن العمل، وكربون الماس الذي يصوغه في شكل حلي خبراء الماس في محال «دي بيرز»؟ كل ذرة كربون في الجرافيت ترتبط برابطة تساهمية مع ثلاث ذرات كربون أخرى، كلها تقع في المستوى نفسه ذي البعدين؛ لا يوجد اندماج بين إلكترونات إلى أعلى وإلى أسفل، وإنما توجد فقط القوى السحرية الضعيفة لفان درفالز وهي تمسك كل طبقة بالتالية، وهكذا فإنها تنسل لتنزلق جانبًا.

على عكس ذلك تجد في الماس أن الروابط تتجسد بالكامل في كل اتجاه. كل ذرة كربون هنا ترتبط برابطة تساهميّة بأربع ذرات من نوعها، وهو أقصى عدد ممكن، وعبر حيز من ثلاثة أبعاد. إلى اليسار، واليمين، وإلى أعلى، وإلى أسفل؛ أينما تنظر ذرة الكربون ترى ذرة كربون مربوطة بها. والذرات محزومة معًا بإحكام بالغ وتجانس بلوري بالغ حتى إن الضوء لا يلقى إلا مقاومة ضئيلة جدًّا عند مروره، القليل جدًّا من العيوب ترتد وتعكر صفاء المشهد، وإن كانت الماسة تبقى وامضة صافية نصف شفافة. ولما كان هناك في كل مكان من يريد قطعها إلى شرائح، فإنه سيواجه كتلًا من روابط غيورة تربط ذرة الكربون بالأخرى، وتبدو الماسة

كأنها ستبقى إلى الأبد؛ ولكي يُقطع الماس، يستخدم قاطعه المحترف ماسة أخرى.

عملية دمج وتحديد وضع ذرات الكربون هكذا عملية مجهدة تمامًا ويصعب إنجازها أقصى الصعوبة. يستغرق الأمر وقتًا طويلًا وقوة هائلة حتى يمكن أن توضع كل ذرة حيث يلزم بالضبط لترتبط ارتباط الشقيقات في تنظيم فسيفساء ثلاثية الأبعاد، ملايين فوق ملايين من صفوف بلا خطأ من الحلقات الرباعية الأسطح ذات الأوجه الأربعة. حتى وقت قريب كان المكان الوحيد الذي يمكن أن توجد فيه مصادر إنتاج الماس على بعد مئات الكيلومترات تحت الأرض، في طبقة وشاح الأرض، حيث تتعرض مخازن الكربون لحرارة وضغط عظيمين عبر ملايين أو بلايين من السنين لتتشابك في النهاية ذراته معًا في تركيبات ثابتة. يحدث من حين إلى آخر تفجر بركاني يقذف قدرًا تافها من هذه الماسات إلى السطح، وربما يأتي أحد الملوك ليجعل لتاجه أو لحبيبته الجميلة مثل مارلين مونرو صديقًا من ماسة في شكل كمثرى. وصل الأمر في الصناعة أيضًا إلى أن تعتمد على الماسات بسبب قدرتها التي لا تبارى على بري أجزاء الماكينات المعدنية بالشكل الملائم، كما يسعى منتجو أشباه الموصّلات إلى قطع الماس ليضعوه في رقائقهم الدقيقة، لتساعد على منع ارتفاع حرارة الدوائر المضمنة ارتفاعًا مفرطًا. يتفق أن الماسات ممتازة في خفض الحرارة حتى إن هذه الجواهر وهي في درجة حرارة الغرفة يكون ملمسها باردًا. عندما تضع أطراف أصابعك أو شفتيك المضمومتين فوق ماسة، ستجد أن هذه المجوهرات تمتص الحرارة منك إليها، وهو انتقال للحرارة يفسره مخك كلمس شيء بارد؛ الحقيقة أن ما أكسب الماسات كنية «الثلج» هو قدرتها العالية على نقل الحرارة أكثر من شفافيتها البلورية.

أيًّا كانت اللغة التي تستخدمها أية فئة، فقد كان الماس بوضوح أكثر فائدة من أن نتركه للتسليم صدفة من خلال خط أنابيب لصهارة باطن الأرض. اكتشف العلماء في منتصف القرن العشرين طريقة لمحاكاة الظروف في أحشاء الأرض وأخذوا في اصطناع ماسات تخليقية بمستوى من درجة

صناعية. ثم تمكن الباحثون في وقت أقرب من أن يرتفعوا بمستوى جودة الماسات أيضًا، وإن كانت العملية باهظة التكلفة إلى درجة أن ما ينتج من حجر كريم صناعي قد يكلف عميل متاجر تيفاني للمجوهرات نقودًا أكثر من تكلفة الماس الطبيعي المستخرج من منجم في ناميبيا.

هناك روابط لذرات الكربون أقل حماسًا عن روابطه في الماس، وهي تفيدنا كشريط للصق أجزائنا معًا، كما أن الروابط الكربونية تبقينا أحياء. معظم الطعام الذي نأكله، من مواد كربوهيدراتية ودهنيات وبروتينات وألياف، كلها تتكون من مركبات محورها هو الكربون، ويبلغ مقدار ما فيها من الكربون النقي ثلاثمائة جرام في المتوسط لكل بطن نتعاطاها يوميًّا — أو ما يقرب من وزن كليتين. بعض هذا الكربون الذي نتناوله في الطعام يُستخدم مباشرة لترميم الخلايا التالفة أو تركيب الهرمونات، أما الأغلب فهو أن الجسيم يكسر ببساطة روابط الكربون ليفتحها ويستخلص الطاقة المخزونة فيها، ثم يلقي إلى الخارج بذرات الكربون في شكل غاز ثاني أكسيد الكربون في الزفير. إلا أن فضلات أحد الأنواع تشكل المذاق المفضل عند نوع آخر. النباتات تمزج ثاني أكسيد الكربون مع الماء لتنتج السكريات — وتولد أثناء ذلك نتاجًا جانبيًّا من حظنا هو الأوكسجين الذي نحتاجه. دورة الكربون هي واحدة فحسب من دورات كثيرة في الحياة نعتمد عليها غالبًا بلا تفكير، وكذلك نعبث بها بتهور. روابط الكربون حزمات كثيفة من الطاقة، ونحن لا نستطيع الحصول على كفايتنا منها. معظم الطاقة التي تسوق محركات اقتصادنا وعرباتنا تأتي من كسر روابط الكربون وإعادة صنعها في الفحم والغاز الطبيعي والبترول. سيارتنا تسلك مثل أجسامنا، فتأخذ طاقة الروابط وترمي الكربون بعيدًا في شكل ثاني أكسيد الكربون. يحرق البشر ما يقرب من ٧ بلايين طن من الوقود الأحفوري في كل سنة، وهكذا فإن مستودعات الكربون التي ربما كانت بغير ذلك ستبيت بياتًا شتويًّا تحت الأرض لآلاف السنين، تُحرق بدلًا من ذلك في الجو، الأمر الذي يدفع في قوة دورة كربون هي من قبل تدور وتلف بأسرع ما تستطيع.

هكذا لدينا طاقة روابط جزيئية لها دور حاسم في الحياة، فهي توفر لنا ما يصير إليه الكربون الذي نأكله وتوفر لنا أزواج الأوكسجين الصالح للتنفس، إلا أن الروابط التساهمية بما هي عليه من التزام يمكن أن تبقى مع ذلك خرقاء في تصرفها، في حين تطالبنا الحياة برشاقة نيجنسكي راقص الباليه الروسي المشهور. ها هنا يأتي دور الروابط الثانوية، ويصبح الضعف مصدرًا للقوة. العمود الفقري لجزيء دنا قد تمسك به معًا الروابط الكربونية، إلا أن اللولب المزدوج يشبه سوستة السحّاب المنزلق للملابس، «أسنانه» مصممة لتنضم معًا أو تنفصل متباعدة حسب الحاجة. مثال ذلك أنه إذا أوشكت إحدى خلايا الجسم على أن تتضاعف، فلا بد عندها من أن ينفصل نصفا جزيء دنا أحدهما عن الآخر لإتاحة صنع نسخة، نسخة بالكربون. عندما لا تكون الخلية في حالة انقسام وإنما تحتاج فقط إلى توليد إمداد جديد من بروتين أساسي كالهيموجلوبين مثلًا أو الأنسولين، فلا بد لدنا هنا أيضًا من أن يتباعد نصفاه ولكن تباعدًا هينًا لا غير، لكشف النقطة التي كتبت عليها وصفة الهيموجلوبين في النص النووي. هكذا فإن جزيء دنا ينفتح وينغلق، ينفك ثم يُربط بحزم. هكذا يهتز جزيء الحياة في لزوجة. وعلى كل حال، فإن الحياة قد ولدت في الماء، وهكذا فإن دنا حارس الوراثة لا ينسى أصوله. الرابطة التي تجعل نصفي اللولب متماسكين معًا، أو تجعل كل سنّة في أحد خيطي دنا — أو كل حرف كيماوي — تنضم إلى السنّة المكملة في الخيط الآخر هي رابطة هيدروجين، الرابطة نفسها التي تجعل المياه متماسكة في الانتفاخ المتجهم لقطرة دمع. عندما تتشارك ذرة هيدروجين في الإلكترونات مع عنصر أكبر حجمًا وجسارة واستحواذًا مثل الأوكسجين أو النيتروجين أو الكربون فإن الجزيء يكتسب نمطًا أنيقًا بالغ الجاذبية «يناسب بالضبط» احتياجات الشفرة الوراثية. رابطة الهيدروجين قوية القوة الكافية للإبقاء على شكل دنا الجميل الملتف كالأفعوان أثناء ساعات هدوئه داخل النواة، ولكنها رابطة يسهل قطعها من أجل صنع بروتينات جديدة أو مجموعة جديدة كاملة من الكروموسومات.

ينطبق الشيء نفسه على جزيئات البروتين نفسها. البروتينات لا بد من أن يكون لها أشكال خاصة حتى تؤدي مهامها في الخلية، لكنها لا بد لها أيضًا من أن تكون رشيقة، ملفوفة، وقابلة للاعتصار. تساعد روابط الهيدروجين في تحديد أصعب ما يحدد من أطر البروتين، بحيث تتيح له أن ينثني إلى الخارج بعض الشيء في أحد الجوانب أو أن يلتوي إلى الداخل في جانب آخر. يستطيع جزيء الهيموجلوبين — عن طريق الروابط الهيدروجينية — أن يشبك ذاته حتى يبدو كطبق مكرونة سباجتي باللحم المفروم، حيث كل كرية لحم هي قطعة حديد تعتنق الأوكسجين الذي تحتاجه في لهفة. أو أن بروتينًا لجسيم مضاد في جهاز المناعة يستطيع أن يصفّ سلاسله الأربع المتهدلة لتغدو كالقميص المحكم لتقييد المجانين ويستطيع هنا أن يحيط بإحكام أي ميكروب يلاقيه.

يحدث أحيانًا عندما تمزق رابطة هيدروجينية بصورة لا يمكن إصلاحها أن ترى عندها الحياة وهي تتحول إلى الصورة الصلبة أمام عينيك. يوجد داخل البيضة التي فُقست حديثًا نسيج رهيف يتكون مما يقرب من أربعين بروتينًا خصصت لتدليل فرخ جنيني أثناء نموه، وهذه البروتينات مدينة لروابط الهيدروجين فيما يتعلق بالأبعاد الثلاثية لأطرها. عندما نقلي البيضة، سندمر عندها الروابط، ونحرر المكونات البروتينية لتعيد تنظيم نفسها كيفما اتفق وكما تشاء. يتخثر الشراب الشفاف النشط المتطلع للمستقبل ليصبح شيئًا جامدًا معتمًا هامدًا يستحق الآن الاسم الذي خصص له بأنه بياض البيض.

إذا كانت رابطة الهيدروجين أول الروابط الثانوية التي نتحدث عنها بصدد الجانب الميكروسكوبي من الحياة، فيجب ألا نهمل، نحن الكائنات العضوية، ما لدينا من روابط فان درفالز، الأكثر تجميعًا وتكتيلًا، راعية الأنسجة اللينة. طبقات أعضائنا الداخلية الناعمة هي والأخاديد الداعمة الناعمة لمخنا تتماسك معًا إلى حد بعيد بواسطة روابط فان درفالز. يرجع الفضل في تماسك مستودعات الدهون في أجسادنا إلى هذه الوسائل للّصق بأضعف غراء، وهذا هو السبب في أن من السهل أن نقطع في الدهن باستخدام

سكين لحم الفخذ أو مشرط الجراح — وهذا أسهل من أن نجعل جزيئات الدهن المكونة له تتحلل بالتدريبات الرياضية، وذلك لأنها مخازن لروابط الكربون الغنية بالطاقة. تعتمد النباتات أيضًا في بقائها حية على ما في جدرانها السيلولوزية من قدرة مغناطيسية في روابط فان درفالز. الأسطح الداخلية لجذور وجذوع النبات مشحونة شحنًا هينًا، فتجذب جزيئات الماء من التربة وتحثها على أن تبدأ في الزحف إلى أعلى، كما يزحف الماء أعلى منشفة ورقية إذا غُمس طرف الورقة في قليل من الماء. تضمن الروابط الهيدروجينية عندها أن المزيد من جزيئات الماء سوف تتبع قوادها بطول الطريق السليولوزي. الحياة كاسم هي الروابط، كل الروابط، مجموعة عالمية من الروابط، تسهم كل منها بما لديها من موهبة ممكنة للاحتفاظ بالنظام، وتدعم الروح المعنوية، وتقاوم الانجراف الكوني للتعفن، ولو ليوم واحد على الأقل.

تدور الكيمياء حول الجزيئات والروابط، كما تدور حول عود كبريت يُعثر عليه، ويلوح به، ثم يُشعل في النهاية. يقول ريك دانهيز: «الكيمياء هي علم التغير، دراسة التحول.» تكمن جذور الكيمياء في الخيمياء، المحاولاتِ القديمة لتحويل الرصاص إلى ذهب، ما هو دنيوي تافه إلى ما هو ساحر ثمين، ما هو ميت إلى ما يعاد ميلاده؛ اشتقت كلمة الخيمياء من الكلمة الإغريقية Khemia (خيمياء) التي تعني «الرمل الأسود» وكان الإغريق يربطونه بمِصر القديمة وتفانيها البالغ في ضمان حصول الطبقة الفرعونية على حياة طيبة في الآخرة. الكلمات الصينية «لكيمياء» و«التغير» تتشارك الرموز التصويرية في كتابتها، وهي صورة توضح تحولًا بسيطًا لكنه واضح في شكل الرموز، حيث يتحول شخص يقف إلى شخص يجلس.

وأكثر تحول كيميائي جلي بأي حال هو تحول حالة المادة — أن يتحول الجامد إلى سائل،[١٢] ويتبخر السائل، ويتكثف البخار إلى مطر. نحن فيما

[١٢] في الأسلوب العلمي أن الجامد يتحول إلى «مائع»، ولكننا فضلنا كلمة «السائل» الأسهل والأكثر شيوعًا. (المترجم)

يتعلق بمعظم أدوات حياتنا اليومية نربط كل مادة معينة بحالة واحدة فقط من هذه الحالات الثلاث. الخشب، والصلب، والحجر — جوامد. الأوكسجين والهيليوم — غازات. المشروبات الكحولية — سوائل (يمكنك أن تحتفظ بزجاجة من شراب «صفير بومباي» في حجيرة التجميد بالثلاجة، وتجد أنها بطريقة ما تظل دائمًا قابلة لأن تُصب كسائل استهلالًا لشرب الجين والتونيك). الماء مرة أخرى يتحدى ما هو تقليدي ويبدو في وضع مناسب له في أي شكل من الأشكال الثلاثة، كثلج، أو بخار، أو سائل. الحقيقة أن الأرض تُعد استثنائية في أنها تمتلك الحالات الثلاثة للماء. المريخ لديه ماء وافر، ولكنه متجمد بعيدًا تحت الأرض. يوجد في المشترى وزحل آثار مياه أيضًا ولكنها في شكل بلورات ثلج في مدار أو في شكل غاز بين الغازات الأخرى العفنة السامة. لا يوجد إلا في الأرض وحدها محيطات تتدفق، وأطواف جليد قطبية، وأبخرة تنفثها الفتحات البركانية في منتزه «يلوستون» القومي؛ كوكب «ذات الشعر الذهبي» هو وحده الذي لديه ماء يناسب كل دب.

ما السبب فيما يوجد من اختلاف بين الجامد، والسائل والغاز؟ ولماذا تنفر جوامد معينة من أن تنصهر أو تذوب، في حين أن بعضها الآخر يأخذ في النز خارج الحقيبة لو أنك فكرت فقط في أخذها في نزهة؟ من الواضح أن الحرارة هي أحد المؤشرات التي يمكنك التلاعب بها لإحداث تغير في طور عينتك. إذا سخنت مكعب ثلج فسيذوب. عندما تضيف الحرارة فإنك تزيد من اضطراب الجزيئات، وذلك مع التسليم بأن هذه الجزيئات تتململ من بداية الأمر. أي مادة مهما بدا في الظاهر أنها متزنة وغير ثملة إلا أن كل جزء فيها يواصل الارتعاش في أساسه؛ لا بد أن تدور البروتونات، ولا بد أن تطير الإلكترونات. على أنه في حالة الجوامد — أي المادة التي لها شكل وحجم ثابتان إلى حد بعيد — فإن الجزيئات المكونة لها لا تستطيع أن تتحرك كثيرًا، فقوة حركاتها الفردية يوازنها في مقاومة لها صلابة روابطها. ما دامت درجات الحرارة (والضغط) ثابتة إلى حد معقول فإن الجسيمات تظل قانعة بأداء الألعاب الرياضية بلا حركة وهي تهتز برفق في مكانها بأسلوب جاك لالان خبير «الرياضة الناعمة».

لكننا لو أضفنا الحرارة إلى الجامد، فسوف تتسارع الذبذبات الجزيئية وتأخذ الجسيمات المستثارة في جر وشد روابطها وتعض مدربها الشخصي، حتى تظهر تمزقات دقيقة متناثرة في الصفوف ذات الأبعاد الثلاثية. تجد الجسيمات الآن متسعًا لتأخذ في الانزلاق أحدها فوق الآخر. المزيد من الانزلاق هنا يعني المزيد من الفجوات هناك، والمزيد من الفرص لأن يتزحزح المساهمون المتذبذبون خارج إطارهم. عندما تتفكك آخر معوقات الانزلاق ما بين الجزيئات فسنجد أمامنا سائلًا، مادةً تنساب متدفقة لها حجم يقاس وليس لها شكل ثابت. إذا زدنا تسخين السائل، قد تكتسب الجسيمات دفعًا حركيًّا كافيًا لأن يتغلب على أي قوى جاذبة تُبقي الجزيئات متماسكة معًا، فتأخذ في الوثب حرة عند السطح في شكل غاز. لا تزال مكونات الغاز تحتفظ بتكاملها الجزيئي؛ جزيئات الماء الفردية التي تنساب متبخرة خارج إبريق الشاي الصارخ لا تزال تحافظ على صيغة (يد٢أ) التي ترتبط برابطة تساهمية؛ إلا أنها قد طرحت عن نفسها أي تحكم في الحجم وستنتشر إلى الخارج في أي حيز يتاح لها.

وكقاعدة، نجد أن الجوامد الأيونية في الصخور والعظام تقاوم أقصى المقاومة الصهر والغليان. تتحدى الروابط المتينة التي تربط كل أيون بالآخر أي تفكيك لها وأي دفع لها جانبًا، فتقاوم بهذا أول خطوات الإسالة. تركز الكثير من القصص البوليسية على المدفأة الواشية حيث ترفض بقايا الهيكل العظمي للضحية أن تطهيها حرارة المدفأة ويطويها النسيان. يحترق الخشب العادي الذي يستخدم في المدافئ عند ما يقرب من ٦٥٠° فهرنهايت ولا تكاد تحدث نقرة في الأسنان أو العظام؛ بل إن درجة الحرارة الجهنمية من ١٨٠٠°، كما في المحارق المخصصة للجثث، تحتاج حتى إلى ساعتين أو ثلاث ساعات لتذيب معظم الهيكل العظمي للراحل، ويمكن مع هذا أن تتبقى شظايا عظام متخلفة في الرماد. المعادن أيضًا كثيرًا ما يكون لها جلد إبليس، ولا تذوب إلا عند درجات حرارة عالية جدًّا. لا يقتصر السبب على أن الرابطة الفلزية الناتجة عن تشارك الإلكترونات بين ذرات عديدة هي رابطة متينة إلى حد بعيد، وإنما هناك أيضًا نظام المقايضة الذي يشجع

ذرات المعدن على أن تتجمع بأكبر كثافة ممكنة في الأبعاد الثلاثة. على أن هناك تباينًا ملحوظًا في درجة الصلابة ومقاومة الذوبان من معدن إلى آخر. ذرات الحديد عندها ثلاثة إلكترونات تتشارك فيها مع أترابها، وهي تتكدس معًا في مسافات بالغة القرب، حتى إن كل ذرة تمس اثنتي عشرة ذرة من جيرانها؛ لا ينصهر الحديد إلا عند ٢٨٠٠° فهرنهايت أو ١٥٣٨° سلسيوس. من الناحية الأخرى نجد أن الصوديوم اللين كسمك الرنجة يستطيع أن يتشارك فقط بإلكترون واحد مع زملائه، ومن ثم فإن اتحاد الصوديوم بالصوديوم يعد بالمقارنة لينا وينصهر الصوديوم عند ٢٠٨° فهرنهايت. يوجد في الفضة، والنحاس، والذهب تصميم مدارات مشابه وكل هذه المعادن تنصهر عند درجة حرارة أقل من ٢٠٠٠° ف.

ثم هناك الزئبق الذي يثار النقاش حوله بأنه أكثر المعادن جنونًا. الزئبق سائل في درجة حرارة الغرفة، وهو موصل رديء للحرارة والكهرباء ويبلغ من ذلك أنه لا يكاد يستحق أن يُضم إلى مملكة المعادن. يكمن وراء سلوك الزئبق غير المعتاد ما له من نواة ضخمة والشد العظيم لبروتوناته الثمانين. الحزمة الموجبة في قلب الزئبق تُبقي قفلًا بالغ القوة على كل الإلكترونات المحيطة به، حتى إنه على الرغم من أن هذا العنصر له من الوجهة النظرية جسيمان سلبيان يتشاركان في بحر إلكترونات؛ فإن هذه الإلكترونات تفضل أن تبقى قريبة من أسرتها النووية، تاركة الروابط الفلزية التي تربط ذرة زئبق بالأخرى وهي ضعيفة وسهلة القطع.

على أنه حتى مع كون الزئبق يُولد بروح ضعيفة وزئبقية، سنجد أن هذا العنصر يشكل بسهولة أملجمات لينة (أو سبائك دمج) مع المعادن الأخرى بما في ذلك الفضة والذهب. استخدم العاملون في المناجم في مصر القديمة وبلاد الإغريق الزئبق لاستخلاص الذهب من ركازه وخامته، وكان الخيميائيون مقتنعين بأنه إذا كان هناك شيء سيحول الرصاص إلى ذهب فسيكون هذا الشيء هو ذلك المعدن المتخبط، شبه الحي، الذي أسموه بأنه «الماء الفوضوي» أو «الزئبق». كان السير إسحاق نيوتن الرائع كيميائيًّا متحمسًا ويرى أن الزئبق مبدأ أساسي وجوهر كل المعادن أكثر من كونه

عنصرًا متميزًا، وسعى إليه في أرقى أشكاله وأكثرها تعقيدًا. أثناء عمل نيوتن في الأبحاث في معمله بكمبردج، تعامل مع قطرات الزئبق وتداول عيناتها واستنشق أبخرتها المتطايرة حتى أصبح في حالة جنون أو حتى تقشر جلده كما يحدث لصانع الفراء — أي مثل أصحاب المهن الذين يشتهرون بمعالجة خاماتهم بالزئبق ولهم سوء سمعة بمعاناتهم من آثار التسمم العصبي بالمعدن. تكشف خصل شعر نيوتن المحتفظ بها عن تركيزات عالية من الزئبق، وحسب الروايات المعاصرة له، فإنه كان يتزايد بمرور الوقت في عدوانيته وسرعة غضبه. عندما قربت نهاية حياته الطويلة، فإن هذا الرجل الذي اكتشف في السابق القوانين العامة للجاذبية والحركة والبصريات وابتكر حساب التفاضل والتكامل، هذا الرجل الذي سماه جيمس جليك بأنه «رئيس المهندسين المعماريين للعالم الحديث»، أصبح لا يبدي أي اهتمام بشيء سوى أكثر ما في الإنجيل خيالًا: «سفر الرؤيا».

وعلى نقيض المواد الصلبة الأيونية والمعادن الأقل اتصافًا بالزئبقية، نجد أن الجوامد الجزيئية كثيرًا ما يسهل صهرها وغليانها إلى حد مزعج. يصدق هذا بوجه خاص على الجوامد التي تحوي مزيجًا من جزيئات مختلفة ولكنها جزيئات على علاقة وثيقة، كالعلاقة بين الأعضاء الداخلية اللينة للجسم. الأرجح أن هذا النوع من الجوامد يعتمد اعتمادًا بالغًا — فيما يتعلق بمورفولوجيته أو تشكله إجمالًا — على روابط فان درفالز، حيث يسهل للغاية الحنث بالوعد. فلنأخذ مثلًا لذلك قطعة زبد تتكون تقريبًا بنسبة ٨٠ في المائة منها من الدهن و٢٠ في المائة من البروتين وغير ذلك من منتجات اللبن، تذوب هذه القطعة عند درجة حرارة تقرب تمامًا من درجة حرارة الفم -- وهذا توافق لا يفسر على الإطلاق تذوق الفم الدسم للزبد وأن كثيرًا من الأطباق التي نعتبرها شهية تحتوي عليها.

لا تخطو كل مادة تُسخّن في خطوات منتظمة من الجامد إلى السائل إلى الغاز. دعنا نأخذ مثلًا من ثاني أكسيد الكربون المجمد أو الثلج الجاف، الذي يمثل أساس الكثير من حفلات أعياد ميلاد الأطفال التي لا تُنسى، وأساس العروض التي تُنسى لمسرحية ماكبث. عندما يتعرض لوح من هذا

الثلج الجاف لدرجة حرارة الغرفة، فإنه لا يمر مطلقًا بطور السائل ويتبخر مباشرة إلى أنسجة رقيقة بيضاء من دخان، وهذا التصرف بما فيه من إنكار للتغير في الطور يسمى بالتسامي. يدين الثلج الجاف بخاصية تطايره كالريش إلى سببين معًا: الهشاشة النسبية للروابط التي تربط جزيئات ثاني أكسيد الكربون معًا، وقلة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجزء الأسفل من الجو. وفي الجو الدافئ تأخذ الروابط الجزيئية في الثلج الجاف في الذوبان بسرعة، ويمتص الهواء المحيط بالضرورة تلك الجزيئات المفككة التي يقل وجودها فيه، فيمتصها بالجملة ويطلب المزيد. يستطيع ثلج الماء العادي أن يتسامى أيضًا مباشرة إلى بخار دون أن يتوقف عند الطور المائي، وإن كان يفعل ذلك بدرجة أقل درامية بكثير. هذا هو السبب في أن مكعبات الثلج وهي في صينية حجيرة التجميد بالثلاجة تنكمش تدريجيًّا رغم استمرار درجة حرارة التجمد من حولها. الهواء الذي يدور يكشط بعض جزئيات ماء عارضة من قمة الثلج ويعيد ترسيبها في النهاية في شكل غشاء من صقيع على جدران حجيرة التجميد — أو إذا كانت المكعبات سائبة في إنائها، فإنه يعيد ترسيبها وكأنه نوع من الغراء يلحم كل شيء معًا في كتلة ثلجية غريبة الشكل.

الانصهار أو الذوبان، أو التجمد، أو الغليان، أو التكثف؛ كلها تمثل تغيرات فيزيائية في حالة المادة، ولكن ليس في تركيبها. ربما تصبح الوحدات الجزيئية في حالة فوضى أو قد يصبح لها نظام عسكري، إلا أنها تحافظ على هويتها الجزيئية. بتلة الزهرة هي بتلة زهرة سواء ألقيت وهي في نعومة المخمل فوق أرضية غرفة زفاف، أو وهي خشنة متيبسة في حمام نيتروجين سائل وكأنها قطعة حلوى كراملة مجمدة. إذا كنا نريد شيئًا جديدًا حقًّا لا بد أن نغير المادة كيميائيًّا. يجب أن نفصل أجزاء الجزيئات الموجودة متباعدة ونعيد توزيع الوحدات الفرعية في تشكيلات جزيئية جديدة. إذا أردنا أن يختمر خبزنا أو أن نخمر عصيرنا، فلن يفيدنا في ذلك الغليان ولا التجميد ولا العصر. سنحتاج إلى جوهر تلك الخيمياء السوداء مجازًا التي بني عليها علم التغيير أو علم الكيمياء. سنحتاج إلى تفاعل كيميائي. ترى

ما هي أفضل طريقة لاستدعاء روح التغيير سوى أن نرفع أيدينا ونشرب في نخب هذه التعويذة السحرية من التفاعل؟

قد يكون التخمير هو أقدم تجربة كيميائية بالفعل في تاريخ البشر. لا أحد يعرف كيف ومتى صنع أول مشروب كحولي واختُبر ليعلن عنه أنه «سلس ومهدئ، ومفعم بالحيوية، مع نكهات مميزة من خشاف فاكهة سوداء، وساسا فراس عطر،[١٣] وكوكا، وقرفة، ولحم، ونكهة معدنية، ونكهة أرضية الغابة، ودجلة، والفرات، وأي نكهة لاذعة. والأفضل أن يُشرب قبل بناء أول برج لزقورة.[١٤]» من المرجح جدًّا أن حدث صنع أول مشروب كحولي كان حدثًا من صدفة كاملة، نتيجة أن بذورًا قليلة من الخميرة نفث بها داخل وعاء به جريش حبوب منقوعة، نسي طفل مهمل، أو عبد مريض مكتئب، أن يرفعه من على المائدة. أيا كان أصل الحدث، فإنه سرعان ما رُوض فن تجارة الخمور بعد حلول الثورة الزراعية. توجد آثار كيميائية على القطع المكسورة من الخزف منذ تسعة آلاف سنة في ليهاو وهي قرية في مقاطعة هينان بشمال الصين، وتطرح هذه الآثار الكيميائية أن مواطني هذه القرية خمروا نبيذًا صنع من الأرز والعنب والعسل، وهذه تنويعة قد تفسر السبب في أن البيرة هي أفضل ما تشربه مع الطعام الصيني. وكما أن الكحول له جانبه المدمر حيث يقتل الملايين أو يصنع قتلة من الملايين، إلا أنه أيضًا قد أبقى على حياة الملايين. ظلت المياه على نحو معروف غير قابلة للشرب طيلة آلاف عديدة من السنين قبل ظهور إجراءات الصحة العامة، وطوال هذه السنين كثيرًا ما كان الناس من كل عمر يطفئون عطشهم، على الأقل في الغرب، بأن يشربوا الكحول بدلًا من الماء؛ مع ما للكحول من خصائص بوصفه مادة مطهرة ضد الجراثيم إلى حد ما، ومع ما له من حموضة، فإن احتمال تلوثه بالجراثيم والطفيليات أقل من تلوث الماء بها. ولعل الجماهير

---

[١٣] الساسا فراس شجر أمريكي له لحاء وأوراق وغصون عطرية. (المترجم)

[١٤] الزقورة معبد مرتفع هرمي الشكل من عدة طوابق، كان يبنى في بابل وآشور لتسجل عليه أثارهم وأمجادهم وانتصاراتهم. (المترجم)

هكذا كانت في الكثير من الأوقات في حالة سكر بسيط، إلا أن معاناة السكر أفضل من معاناة التيفود.

النبيذ والبيرة وغيرها من المشروبات الروحية التي تتحكم فيها الدولة هي نتاج ولائم للخميرة، والأكل يتطلب دائمًا تحولًا كيميائيًّا: كسر ما نجده من الجزيئات لتتباعد واستخدام الأجزاء والوقود لتخليق الجزيئات التي نحتاجها. الخميرة نوع من الفطر، وفي حين أن مملكة الفطر لديها نوع من التذوق المتنوع غير المعتاد فقد لا يتناغم مع تذوقنا، إلا أن سلالات الخميرة التي تخمر الشراب يتفق أنها تشاركنا في حبنا للسكّر. عندما تضيف خلايا خميرة تخمير الشراب إلى وعاء ضخم من جريش الشعير أو العنب المهروس جيدًا، ستتعلق الخميرة بما يسمى السكريات البسيطة الموجودة في الخليط، و«البسيطة» هنا تعني جزيئات كربوهيدرات يمكن تحليلها إلى مواد كربوهيدراتية أبسط. السكريات البسيطة هي التي لها طعم حلو على اللسان وتتضمن الجلوكوز (السكر الذي يتدفق في دمائنا ويعمل كوقود لكل خلية)، والفركتوز وهو السكر الرئيسي في الفاكهة. (إذا وضعنا الجلوكوز والفركتوز معًا نحصل على السكروز، سكر المائدة الذي نقلبه في قهوتنا). هذان السكران البسيطان لهما تركيب كيميائي متشابه، نفس العدد من ذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين، ولا يختلفان إلا في طريقة تنظيم الذرات في فضاء الأبعاد الثلاثية. لا تهتم الخميرة بذلك، فهي تمتص أيًّا منهما وتنتزع الطاقة من السكر بأن تحلله إلى جزأين من ثاني أكسيد الكربون وجزأين من الكحول الإثيلي أو الإثانول. ثاني أكسيد الكربون هو الناتج الذي يضع في المشروب القليلَ من رغوة الزبد، أو عندما تضاف الخميرة إلى عجين خبز بدلًا من الجريش، فإن هذا يؤدي إلى تخمر ما فيه من الجلوتين[١٥] إلى مادة طعام منتفخة مهيأة لأن توضع في الفرن لخبزها. الإثانول هو بالطبع ما يجعل الكحول مشروبًا كحوليًّا، وهو يرتفع بالمزاج وينخفض بالإدراك. الإثانول عضو واحد بين أعضاء فئة كبيرة من

[١٥] الجلوتين مادة بروتينية توجد في القمح وغيره من الحبوب ولا تذوب في الماء. (المترجم)

المركّبات العضوية تسمى بالكحوليات، وهي مواد كيميائية لا لون لها وقابلة للاشتعال وتوجد في نطاق واسع من الأماكن. تولّد بكتريا الأمعاء كميات ضئيلة من الكحول، كما أن خلايا عضلاتنا تعمل بالتخمير كلما دفعناها إلى العمل الشاق السريع في ظروف من انعدام الهواء، أي بدون أوكسجين. النواتج الثانوية لهذا التخمر العضلي يمكن أن تجعل لغرفة الملابس في النادي الرياضي رائحة غريبة كرائحة الحانة.

بصرف النظر عن مصدر المواد الكحولية فإنها كلها مزودة بعلامة مميزة من مجموعة الهيدروكسيد، وهي عقدة كيميائية تفاعلية من الأوكسجين والهيدروجين كالمقبض تتيح للكحول أن يغرس نفسه كوتد بين جزيئات أضخم نسبيًّا، ليعمل على شقها منفصلة. الكحول هكذا يُستخدم على نطاق واسع كمذيب في صناعة العطور، والصبغات، والصناعات الدوائية، وحتى في شراب الكحة للأطفال، كما أنه أيضًا يستخدم كمنظف جيد إلى حد بعيد. الكحول له درجات تجمد وغليان منخفضة، بما يتيح لنا أن نستعيد مشروبنا المبتكر من حجيرة التجميد لنصب منه مباشرة الجرعة المضبوطة، ولنحس بالراحة ونحن نقدم للأطفال طبق دواجن بصلصة النبيذ الأحمر أو تقدمه للسيدة كاري نيشن،[١٦] بمضي الوقت الذي نخرج فيه الإناء من الفرن يكون الكحول في صلصة النبيذ قد تبخر بعيدًا من زمن طويل.

جزيئات الكحول نفسها يمكن تحويلها كيميائيًّا إلى حالة من الإفاقة في وقار. إذا عرضت زجاجة نبيذ للهواء وللسلالة المناسبة من البكتريا الهوائية — أي البكتريا التي تحتاج إلى أوكسجين لتتغذى وتبقى حية — فإن البكتريا ستواصل عملها على ما خلفته الخميرة وتحلل الكحول إلى ماء وحمض خليك، أو خل. جزيء الخل يشكل مع الزيت مرق تابل جيد، والخل قد اكتسب هكذا شهرته الخاصة في فن الطعام بطاولة السلَطات؛ ولكن الخل مع كل طعمه اللاذع ينقصه النشاط المسكر لمجموعة الهيدروكسيد في قطع غيار الكحول، ولهذا فإنه لا يستطيع أن يشوش حتى على أرنب.

---

[١٦] كاري نيشن: سيدة أمريكية (١٨٤٦–١٩١١م) قامت بحملة عنيفة ضد شرب الخمور. (المترجم)

التخمر ليس سوى نقطة في الوعاء الواسع الضخم للإمكانات التفاعلية التي تحيط بنا. بعض التفاعلات الكيميائية تحدث بسهولة وتلقائية بينما البعض الآخر لا يهتم بأن يقع التفاعل إلا عندما نشعل نارًا تحت مواد التفاعل، أو عندما ندفن أجزاءها البادئة بالتفاعل تحت الأرض لننساها لمدة نصف بليون سنة. عندما نجمع بين الصوديوم والكلور فإنهما، وياللعجب، يتفاعلان في الحال: مثل لقاء مدينتي سدوم وعموره ولا يتخلف لنا سوى عمود ملح. وعندما تتخذ إلكترونات الأيونات المساهمة في التفاعل وضعها في البلورة، فإنها تطلق بعضًا من حيويتها، من طاقة حركتها وطاقة وضعها. إجمالي طاقة ائتلاف كلوريد الصوديوم يقل هونًا عما كان يمتلكه الصوديوم والكلوريد قبلها. ومن ثم فإن التفاعل الذي يضمهما معًا تفاعل منتج للحرارة، تنطلق منه طاقة هي في هذه الحالة في شكل حرارة، وضوء، ودوي مثير لتفجر صغير.

من الناحية الأخرى، عندما تقلّب معًا بيضًا وزبدة ودقيقًا وسكرًا والمكونات الأخرى لكعكة احتفال بعيد ميلاد، وتضع المزيج المضروب في إناء طهي مسطح، ثم تدرك في منتصف الحفل أنك لم تشغّل الفرن بأي حال، حسن، هناك دائمًا فرصة لاستدراك ذلك من مخبز «انتنمان» المعروف. حتى تتفاعل مكونات مزيج الكعكة كيميائية وتعيد ترتيب روابطها في نسيج الكعك الخفيف المتماسك الرطب المبهج المكون من الكربوهيدرات والدهنيات والبروتينات على نحو ما نربط بينها وبين الكعك، حتى يحدث هذا التفاعل فإنه يتطلب طاقة. خبز كعكة هو تفاعل ماص للحرارة، تفاعل يستهلك الحرارة بدلًا من أن ينتجها.

ثم هناك المجابهات الكيميائية التي تبدأ ماصة للحرارة وتنتهي إلى عاصفة من هواء ساخن. الأوكسجين الذي نتنفسه، الغاز الذي يكوّن خُمس جوّنا، قد يكون واهبًا للحياة، لكن ياله من جزيء متحمس للتفاعل. يتحد الأوكسجين مع أي مادة يستطيع الاتحاد بها، وهو في هذا الاندماج يسرق الإلكترونات من شريكه، مغيرًا من حال هذا الشريك لافحًا إياه بحرق ليتركه وهو أضعف مما كان من قبل. الأوكسجين لص بارع حتى إن نفس فعل

سرقة الإلكترون يسمى بالأكسدة، حتى وإن كان هناك ذرات وجزيئات أخرى تعمل كمؤكسدات أيضًا. قد تكون الأكسدة بطيئة ومضطردة كما يحدث عندما يتفاعل جسر حديدي مع الأوكسجين ويأخذ في الصدأ. أو أنه قد يقع حدث في وحدات زمن من المللي ثانية: يحيي الأوكسجين البنزين في أسطوانة محرك السيارة، ويتفجر المزيج وننطلق في طريقنا. تفاعلات الأكسدة تكون في أغلبها منتجة للحرارة. عندما يصدأ أحد الجسور فإنه يبعث كميات متواضعة من الحرارة، أما الحرارة التي تنطلق خارجة من الاحتراق الداخلي لمحرك فتكون بقدر كبير يكفي لأن يدفئ قطة تقبع فوق كبود السيارة بعد توقف المحرك بساعات. إلا أن الاحتراق يتطلب عمومًا مُدخلًا ابتدائيًّا من الطاقة قبل أن يستطيع أن يتحول إلى تفاعل يستمر ذاتيًّا وينتج حرارة. لا بد من أن تطلق شمعة الاحتراق شرارة المغازلة الأسطوانية للأوكسجين والبنزين. لا بد أن يُحك عود كبريت إذا كان له أن يشتعل بأي حال، إلا أن يكون ذلك اشتعالًا وهميًّا. عندما نحك رأس عود الكبريت بالسطح الملائم، فإننا نسخنها بالاحتكاك. هذه الحرارة هي ما يحتاجه بالضبط الكبريت والفوسفور والمكونات الأخرى في العود حتى تتحد في تفاعل ينتج الحرارة بما لا لبس فيه. وهذه الحرارة الناتجة عن اصطدام الكبريت والفوسفور كافية بدورها لبدء احتراق مؤكسد، المجابهة الكيميائية بين الأوكسجين ومادة أساسها هو الكربون — في هذه الحالة عمود الخشب في عود الكبريت. يحول الحرق مادة التفاعل إلى حرارة. وضوء، وثاني أكسيد الكربون، وبخار ماء وسوف يستمر من غير مزيد من المداهنة طالما بقي هناك كربون يؤكل، وأوكسجين أكول.

الحياة أيضًا مزيج من تفاعلات منتجة وماصه للحرارة، جمع للوقود وإضرام النار فيه، تكديس قطع الحطب بدقة كما يفعل صبيان الكشافة، إشعال عود الكبريت، والإحساس بالاحتراق. على أي حال فإن الجسم لا يستطيع أن يتحمل الانتظار حتى يتصادف وتحدث الكيمياء المناسبة، فإنه لا يتمتع بميزة أن يظل موجودًا لعدة ملايين من السنين مثل أوكسيد الألومنيوم حتى يقع الالتقاء الأمثل لأحداث جيوكيميائية تعيد ابتكاره في

شكل الياقوت الأزرق. الجسم بدلًا من ذلك لا بد أن يحفز التفاعلات التي يحتاج إليها، ويدفع الجزيئات معًا التي لولا ذلك ما كانت أبدًا ليجد أحدها الآخر، ثم ينعم الجسم بنتائج إطلاق الطاقة بنشاط من عمليات الاقتران الكيميائية. خلايانا مفعمة بالإنزيمات، وهي بروتينات تجعل التفاعلات تحدث في أنماط قابلة للتنبؤ، تمامًا مثلما تؤدي شموع احتراق المحرك إلى استمرار احتراق الغاز في الأسطوانات. الإنزيمات الهاضمة تطلق الطاقة الموجودة في الطعام، إنزيمات الكبد توقف المفعول السام للسموم، إنزيمات الجهاز المناعي توقف مفعول الميكروبات. نحن نتناول الوقود ليولّد عوامل الحفز في جسمنا: إنتاج الإنزيمات مشروع ماص للحرارة. لا تلبث الكثير من هذه الإنزيمات أن تحفز بعدها تفاعلات منتجة للحرارة، وتبقى عشرات الآلاف، وعشرات الملايين من النيران المنزلية الضئيلة وهي تشتعل يوميًّا، وبالطريقة المناسبة بالضبط.

في الحياة، كما في الحب، يكون التوقيت هو المفتاح، حتى من يكونون بلا رسغ يرتدون ساعات يد. فالنباتات تحشد تحركات الحيوانات في المنطقة لتعمل من أجل قضية وجود النبات في كل مكان وزمان، ولا بد من أجل هذا الهدف من أن تتأكد النباتات من تعظيم حلاوة ورقّة معروضاتها عندما يحين بالضبط الوقت الذي تكون فيه بذرتها مهيأة للانتشار. ترغب النباتات عندها في أن يأتيها آكل الثمار ليلتهم الفاكهة في تلك اللحظة، وينزع بالأيض أغلفتها، ثم يسير بعيدًا على مهل ليتخلص بالإخراج من البذور غير المهضومة في رقعة ما بعيدة من التربة البكر. النضوج الاستراتيجي للتفاحة يعرض إذن مثلًا ممتازًا لمرح جسدي شهواني متحكم فيه، فيتم في خطوات تدريجية إشعال عصفات كيميائية تتألق مشتعلة في شكل لون وأريج واستدارة غضة، كلها تتوسل إليك أن تأتي لتأخذ قضمة.

يبدأ التفاح في التبرعم فوق شجره في وقت يلي مباشرة وقت إغراء زهور الربيع لحشرات التلقيح لتساعد على إخصاب محصول جديد من البذور. تهوي الزهور بعيدًا ويحدث تفاعل بإنتاج عظيم للحرارة — تدفع تكلفته أوراق الشجر التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي. ويؤدي هذا التفاعل إلى أن

تخرج ثمرة فاكهة بارزة بما يقرب من خمسة جيوب أو كربلات[١٧] من البذور إلا أن هذه البذور تحتاج إلى وقت تنضج فيه، قبل أن تكون قادرة على أن تغادر الجراب وتنمو متبرعمة لأشجار تفاح جديدة. التفاحة غير الناضجة هي إذن فاكهة ممنوعة، جدران خلاياها سميكة ولا تقبل النفاذ، ولحمها جامد وليفي وحمضي، وقشرتها الخارجية خضراء بالبلاستيسين — فاكهة مبتذلة تعد تغييرًا مختزلًا لعبارة «منطقة إنشاءات: ابتعد عنها».

إلا أننا لو منحنا التفاحة وبذروها الوقت الكافي، فإنها ستأخذ في إطلاق هرومونات الإنضاج، وخاصة هرومون الإثيلين. الإثيلين حزمة جزيئية مدموجة من ذرات الهيدروجين والكربون — مادة كربوهيدرات — إلا أن تأثيره كبير ومثمر. عندما تنتشر جزيئات الإثيلين في التفاحة بأسلوبها كغاز، فإنها تستثير إنزيمات أخرى، كتيبة من عمال تجديد الفاكهة، ومن المدربين، والنجارين، ومحرري النسخة، ومستشاري الأزياء، ومنظمي الوضع. بعض الإنزيمات تشق المواد الكربوهيدراتية النشوية المعقدة لتحولها إلى سكريات بسيطة، وبعض الإنزيمات الأخرى تساعد في تعادل الأحماض، بينما البعض يظل يحلل الغراء البكتيني بين خلايا الفاكهة وبهذا يساعد على تليين الثمرة. بينما الخلايا تزداد في ارتخاء روابطها، وتزداد حلاوة ونفادًا، تتخذ الثمرة ما يكاد يكون أسلوب جهاز تنفسي حيواني، فتستنشق الأوكسجين وتزفر ثاني أكسيد الكربون. تمتص المحتويات السكرية العالية التركيز الماءَ من الجذع، وتتحول التفاحة إلى ثمرة مفعمة بالعصارة. تغدو الآن جزيئاتها المتحللة صغيرة في الحجم بما يكفي لأن تتطاير في الهواء وتنقل فيه النكهة المميزة التي ندركها كنكهة تفاح. تساعد الإنزيمات التي في القشرة على أن تزيل الكلوروفيل الأخضر وتولد بدلًا منه صبغات ناصعة تسلب اللب بألوان حمراء أو صفراء يمكن رؤيتها من مسافة بعيدة، وهي المكافئ البصري لجرس العشاء بالنسبة لآكلي الثمار من الطيور والثدييات. معظم هذه التفاعلات الكيميائية منتجة للحرارة: الفاكهة وهي تنضج تبدو في ملمسها

---

[١٧] الكربلة: وحدة عضو التأنيث في الزهرة. (المترجم)

وشكلها وكأنها تقريبًا تتوهج. أخيرًا يمكن قطف التفاحة واختبارها، وأن تتشاركها مع شخص تحبه.

الفصل السادس

البيولوجيا التطورية

نظرية كل فرد

عندما أوشكنا على دخول مكتب الأستاذ دافيد ويك في متحف جامعة كاليفورنيا لعلم الحيوانات الفقارية في بيركلي ألقى نظرة جانبًا وتوقف فجأة.

وقال: «انتظري لحظة، عليّ أن أريك شيئًا، ستحبين ذلك، ستحبينه تمامًا.» ثم اندفع إلى رف قريب وتناول منه دلوًا بلاستيكيًّا أبيض عليه غطاء، له عدة ثقوب، رفع الأستاذ ويك الغطاء وأتاح لي أن ألقي نظرة خاطفة.

تدافعت كلماتي في ارتباك وأنا أحملق في الدلو: «ما هذا بحق ...؟» كان في قاع الدلو شيء ما غريب، كأنه دمية في شكل سحلية، ولكنها لا تشبه أي شيء مما رأيته من قبل في متاجر الهدايا بحدائق الحيوان التي تعلن أن «اللعب هي نحن»، أو أي شيء مما رأيته حتى في استراحة حانة بلارني ستون قرب محطة بن، يبلغ طول جسم السحلية خمس بوصات ولونه فاتح يومض مثل قرص نصف شفاف، ومن الواضح أنه تشكل من مادة بوليمر صلبة لجِلّ من نوع جيد، يصطبغ الرأس بمسحة من الأزرق المخضر، وتحمل السيقان الأنيقة وطرف الأنف لمحة من لون وردي، أما

الظهر والذيل السمين فعليهما بقع نحاسية وأرجوانية فاتحة. لم أستطع أن أتوقف عن التحديق في بله؛ هل هذه نسخة منقولة عن سحلية قديمة، دُفعت إلى الانقراض نتيجة عدم إمكان الحفاظ على العجينة التي تصاغ منها؟ هل هذه تورية بصرية أبدعها عالم موهوب فنيًّا كنوع من تعليق ساخر على مجال علم الزواحف؟ هل هي للبيع، أو أنه ينبغي أن أسرقها حين لا يراني البروفيسور ويك؟ ثم ما هذا؟ كيف أمكنه أن يجعل هذا الشيء يطرف بعينه ويخفق بذيله الآن في التو من غير أن يدوس على أي زر؟

قال ويك: «أليس هذا أجمل مخلوق رأيته؟! هذا برص أحضره حالًا أحد الزملاء من الشرق الأوسط.»

قلت له أو لعلي هتفت بصوت حاد: «انتظر لحظة، أتعني أن هذا برص حي حقيقي؟!»

أجابني مؤكدًا «حي يرزق، إن فيه بالفعل سمة لا دنيوية وكوميدية نوعًا ما، أليس كذلك؟ كأنه شيء من صور دكتور سيوس[1] للأطفال، أو ألا تظنين أنه نموذج مثالي لصانعي الصور المتحركة بالكمبيوتر فيما يسمى باستديوهات بكسار؟ لن يكون عليهم أن يغيروا أي شيء فيه.» أطبق الغطاء ثانية في موضعه وأعاد الدلو إلى الرف.

قلت لنفسي: لا؛ البرص حيوان رائع، إنه يلفت النظر لأول وهلة، ولكن الذي عرفت في وقت لاحق أنه يسمى بالعامية باسم يلائمه «السحلية العجيبة» يبدو أكثر خداعًا من أن يصلح لرسم كرتوني.

المظاهر الخادعة جزء من الرسالة التي أحاول تفسيرها هنا، ينبغي في البيولوجيا ألا تصدق أبدًا عدم تصديقك؛ فهناك أنواع من الكائنات كثيرة تثير الظنون في النفس، وتبدو لها سمات مبالغ فيها بدرجة أكثر مما ينبغي، كأن تكون بشكل متكلف جدًّا أو بسيطة جدًّا، أو غريبة جدًّا، أو خلطًا مضطرب النظام جدًّا، أو أنيقة جدًّا، أو شديدة التركيب جدًّا، أو مهمة

[1] دكتور سيوس (١٩٠٤–١٩٩١م) رسام كارتون أمريكي مشهور ومؤلف كتب أطفال، لا تزال شخصياته لها تأثير كبير في أفلام التليفزيون. (المترجم)

وخطرة جدًّا، أو مثالية الكمال جدًّا. في كل مرة أرى فيها طائر الطوقان[٢] تثور شكوكي؛ فمنقاره الأصفر الضخم لا يتناسب بأي حال مع باقي جسده ويبدو مثبتًا بالكاد في وجهه، وكأن هذا الطائر قد ألصق بمنقاره موزة ضخمة ورأى أن هذا شكل محبب له. وما دمنا نتحدث عن الأنوف المتحولة، دعنا لا نزدري الخُلْد ذا الأنف النجمي، وهو حيوان برمائي يوجد في شرق أمريكا الشمالية، يحيط بخطمه اثنان وعشرون مجسًّا سميكًا بلون أحمر وردي، وهي مجسات بالغة الحساسية عندما يرمي بها ممتدة بكل طولها وهي تتلوى فيما حولها بحثًا عن الطعام تبدو وكأنها دولاب هوائي من الديدان الأرضية، أو أصابع أطفال تضرب من أسفل إلى أعلى في فيلم سينمائي رخيص مرعب ولكنه يؤثر في المتفرج تأثيرًا يثير الدهشة، لا ريب أن الخلد ذا الأنف النجمي لم يحدث هكذا اتفاقًا، لا ريب أن مسئولية تشكيله تقع على عاتق موظف سيئ المزاج يقبع في ركن من حجيرة رطبة في بدروم.

في القرن التاسع عشر التقى علماء التاريخ الطبيعي الأوربيون لأول مرة بحيوان البلاتبوس[٣] بمنقاره الشبيه بالبط في أستراليا ونيوزيلندا، وهو يمشي بخطوات يجر بها أقدامه بمشية تشبه مشية السحلية، وله عينان صغيرتان كالخرز، وأذنان في شكل شقين وأصابع أقدام تتصل بطيات جلدية كالأوز، وذيل في شكل المجداف، ثم ذلك الفم الغريب المطاطي الأسود المزرق الذي يشبه فم إخوان ماركس الممثلين الكوميديين، والذي لا يتمتع بأي كياسة لتجعله يصيح بصوت البط. والحقيقة أن العلماء الأوربيين عندما التقوا بالبلاتبوس لأول مرة اقتنعوا بأن هذا الحيوان خدعة، ولم تهدأ شكوك المستريبين إلا بعد أن قُتل العديد من حيوانات البلاتبوس ثم شُرِّحت.

الرشاقة المذهلة قد تبدو أيضًا كخدعة، مثال ذلك: عندما تواجه إوزتان بوقيتان إحداهما الأخرى، وقد حنيتا رأسيهما، وتلامست جبهتاهما وتقوس عنقاهما كراقصات الباليه ليشكلا نصف قلب، وترقبهما وهما يتحركان، تستطيع عندها أن تحلف أنهما على وعي بسلطان جمالهما، وكأنهما تعيشان

[٢] الطوقان: طائر أمريكي ضخم المنقار.
[٣] البلاتبوس: حيوان مائي ثديي يبيض. (المترجم)

ليجعلاك في حال من التوق والتواضع، والروع مما هو مقدس. أو عندما ترى ذكر عصفور دُرسة وقد اصطبغ ردفه ومؤخر عنقه باللون الأحمر، ورأسه أزرق وظهره أخضر؛ أمير للمجنحات، مفعم بألوان الفنان ماتيس،[٤] ذات مرة رأيت رسمًا لعصفور درسة فوق شجرة ولم أستطع أن أصدق كيف أن شيئًا مدموجًا في حجم صغير هكذا يمكنه أن يملأ لي كل آفاقي.

جلس دافيد ويك إلى مكتبه في الموطن العضوي المعتاد لعالِم في البيولوجيا حيث توجد أكوام من مواد مطبوعة نسقت تنسيقًا سريعًا، وهناك تحفة تتجلى فيها وحدة الوجود؛ ساعة عليها ضفادع بدلًا من الأرقام، وتوجد مجموعة مثيرة من تماثيل زواحف وبرمائيات مُقلَدة ببراعة، ثم قالب طوب قديم لفرن عليه نقش بارز لكلمة سلمندر،[٥] وهناك صور لعلماء كتشارلز داروين، وإرنست هيكيل، وريتشارد أوين، وهومر سيمبسون. أخذ دافيد ويك يتحدث عما يهواه في مهنته، وعن رسالته الشخصية، تحدث عن ضفادع الأشجار، وسحالي السقنقور، وسمك أبوشوكة، وحيوانات السلمندر وألسنتها التي تنطلق كالمقلاع. وسرد سيرته غير النمطية؛ مزيج عائلي مخلوط من مزاجين عقليين، لاهوتي وعلمي، وهما مزاجان يشكو أحدهما طبيعيًّا من الآخر مثل أسرتي روميو وجوليت أو آل مونتاجيو وآل كابوليه، ومثل الولايات الليبرالية الحمراء والولايات المحافظة الزرقاء، وتحدث عن كيف أن خلفيته المختلطة تنوّر حماسه العنيف في تدريسه. ذكّرني ويك بقس من المذهب المنهجي (Methodist) عرفته وأنا في المدرسة الابتدائية، حيث كان والد إحدى أفضل صديقاتي — وله نفس الشعر المبيض، ونفس العينين الزرقاوين اللطيفتين بنظارتهما، ونفس الروح الساحرة المتفتحة المحبة للخير — على أنه في حين أن مستر هيل يعد بروتستانتيًّا إنجيليًّا من حيث رؤى التجلي والكتاب المقدس، فإن دافيد ويك يعد ممن يفضلون وجود الأدلة ووجود حفرية جيدة حقًّا.

[٤] ماتيس هنري (١٨٦٩–١٩٥٤م) رسام ونحات فرنسي، أحد رواد مدرسة الوحشية أو الفوفية، ويتميز رساموها بالألوان الصارخة والأشكال المشوهة. (المترجم)

[٥] السلمندر: حيوان برمائي متنوع يشبه السحلية له أربعة أرجل ضعيفة وجلد بلا قشور نفاذ للسوائل. (المترجم)

قال لي ويك: «نشأت في مجتمع مسيحي محافظ، كان جدي راعي أبرشية لوثريًّا، وكان والداي متدينين جدًّا، والتحقت أنا نفسي بكلية الباسفيك اللوثرية، نال اثنان من أبناء عمومتي دكتوراه في اللاهوت؛ عمل أحدهما رئيسًا للكلية اللوثرية في ألبرتا والآخر كان أسقفًا في كندا، هكذا كما ترين تمتلئ أسرتي بالأفراد المتدينين ورجال اللاهوت.»

و أضاف: «أسرتي بها في الوقت نفسه الكثير من العلماء أيضًا، بما هي جديرة به؛ أحد أبناء العمومة كان أمينًا للمتحف الميداني في شيكاغو، ولي قريب آخر أمين لمتحف التاريخ الطبيعي في أوسلو، وكان جدي راعي الأبرشية هاويًا للتاريخ الطبيعي، وقد عاش لفترة في منزلنا، وعاش حتى بلغ التاسعة والتسعين، وهكذا فإني عرفته معرفة جيدة، وهو لم يحس أبدًا في حياته الطويلة الثرية بأي صراع بين عقيدته الدينية ومعارفه العلمية. لم يحدث ذلك لأي واحد في عائلتي، جدي هو أول من علمني التطور، وقد علمني أن أحترم الأدلة وأن أتذكر أن الدين يجب أن يتلاءم دائمًا مع الواقع، نحن نعيش في عالم واقعي — كما قال لي — ويجب أن نفهم العالم حسب لغته الإمبريقية الخاصة به.»

ويك لديه رسالة لنشاركه إياها، وهي رسالة وجدتُ واقعيًّا أن كل العلماء الذين تحدثت إليهم، أيًّا كان مجالهم، يضعونها في القمة أو قرب القمة من قائمة الأشياء التي يودون أن يفهمها الجمهور عن العلم، هذه الرسالة هي ألف ياء علوم الحياة هي خبزها وسمكها، وقد عبّر عن ذلك ثيودوسيوس دوبزانسكي عالم الوراثة الروسي العظيم بأشد بلاغة حين قال: «لا يمكن أن يكون في البيولوجيا أي شيء معقول إلا في ضوء التطور.»

التطور، التطور، **التطور**! ليس من المهم هنا أن تكون ملحدًا، أو ممن يذهبون إلى الكنيسة، أو تابع شيطان جبانًا مثل فاوست يقبع في جحر ثعلب، قد تكون كاثوليكيًّا، أو مسلمًا، أو هندوسيًّا، أو يهوديًّا، أو درويديًّا،[٦] أو معمدانيًّا ولد من جديد أو أعيدت ولادتك مرارًا كبوذي، ليس من المهم

[٦] الدرويد كهنة في بريطانيا القديمة ورد ذكرهم كسحرة وعرافين في الأساطير الويلزية والأيرلندية. (المترجم)

ما تؤمن بأنه هدفنا هنا فوق الأرض أو ما تأمل أن تجده في الآخرة، وليس من المهم أن تؤمن بوجود كائن أعلى أو تفضل الاكتفاء بفريق فتيات رونيت للغناء، ليس من المهم ما يكونه القرص الذي تدخله في الوحدة العقلية التي تحمل عنوان «الرب»، لن يتأثر أي من هذا عندما تدرك ما يكونه المبدأ الموجود في الأساس من الحياة الدنيوية وفي تشابكها معًا كلها، هذه الحياة التي نراها من حولنا، الحياة التي نسميها حياتنا الخاصة بنا، قد تطورت من أشكال حياة سابقة لها، وهذه بدورها قد انحدرت من أنواع لأسلاف قبلها، تطورت الأنواع الأكثر جدة من الأنواع الأكثر قدمًا بواسطة القوة الجبارة للانتخاب الطبيعي، قوة يكاد يكون لها مداها وبراعتها في كل مكان وزمان، لدرجة أنها ليست في حاجة إلى أي تأهيل، أو إضافة، أو ثقل للموازنة، أو اعتذار. التطور بالانتخاب الطبيعي يعرف أيضًا بالتطور الداروينى أو الداروينية (داروينية أيام الجمعة بالملابس غير الرسمية[٧])، وهو يفسر الحياة على الأرض بكل كيانها الكامل العنيف، كل ما فيها حاليًّا من ٣٠ مليون أو ربما مائة مليون نوع — التي لا يزال الكثير منها في حاجة للإحصاء والتصنيف، ناهيك عما يوحي به ذلك من ارتباط بانفجار هائل فيما بعد — وناهيك عن مئات الملايين الكثيرة من المخلوقات التي نشأت ثم اختفت عبر بلايين السنين العديدة منذ أول ظهور للحياة. التطور للكثيرين من البيولوجيين جزء من تعريف الحياة، وكما يوضح أحد الباحثين: «ما الحياة؟ إنها ما يؤكل، وما يتناسل، وما يكون لينًا، وما يتطور.»

الداروينية ضرورية جدًّا لفهم أهون وزن يقدر بالأتوجرام في الكتلة الحيوية[٨] إلى درجة أنه حتى الفيزيائيين يوافقون على أنه ينبغي أن نضمن لها حماية مساوية للفيزياء في نظر القانون، يقول روبرت جيف الفيزيائي بمعهد مدت: «يجب على الناس أن يفكروا في الفيزياء باعتبارها مصدر

[7] أيام الجمعة بالملابس غير الرسمية: تقليد في بعض المكاتب والمدارس بالسماح بارتداء ملابس غير رسمية في أيام الجمعة أثناء العمل باعتبار أن التخفف من الملابس يساعد على حسن أداء العمل والتعاون وإظهار الأفكار الجديدة. (المترجم)

[8] الكتلة الحيوية: كمية أو وزن المادة الحية (نبات، حيوان ... إلخ) في وحدة المساحة، أو هي المادة الحية كمصدر للطاقة. (المترجم)

القوانين الأساسية للعلم، إلا أن هناك قانونًا أساسيًّا واحدًا يأتي لنا من علوم الحياة، وهو بالضبط عميق ويتصف بكل الانتشار والشمول كأي شيء في الهيكل المقدس للفيزياء، التطور بالانتخاب الطبيعي مبدأ مطلق للطبيعة، يعمل في كل مكان، وهو مبدأ مذهل، إلا أن التطور يُبخَس من قدره، وأكثر ما أتألم له أنه يتعرض دائمًا للهجوم.»

الداروينية ليست بأي حال مرفوضة بوجه عام أو مزدراة بوجه عام، نظرية التطور لها على عكس ذلك قاعدة أنصار عريضة إلى حد بعيد، وكما كتب دافيد دنبي في صحيفة ذا نيويوركر من سنوات عديدة، فقد حلّت البيولوجيا التطورية بدلًا من الفرويدية في حفلات العشاء، كمصدر مفضل لتخمين السبب في أن هذا الصديق أو ذاك يسلك على هذا النحو السيئ للغاية. صورة تشارلز داروين الجانبية المميزة، بذقنه البيضاء الطويلة ومعطفه الفراك الفيكتوري هي صورة لوجه علمي يستطيع جزء كبير من الجمهور غير المتخصص أن يتعرف عليها، وربما لا يسبقها في ذلك إلا صورة أينشتين. يُعد علم التطور عنصرًا رئيسيًّا لتعليم العلم في أجزاء كثيرة من أوروبا وآسيا وأمريكا اللاتينية، ولم يعد يعتبر مصدرًا للذعر والقلق من الوجهة الثقافية الاجتماعية مثله في ذلك مثل الأفكار الكوبرنيكية عن مركزية الشمس. ومع ذلك فإننا نجد أن هناك معركة في أمريكا موطن الكثير من أعظم جامعات البحث في العالم وموطن أكثر عدد من الفائزين بجائزة نوبل، معركة لا تزال محتدمة ضد التطور على نحو حانق متعصب جنوني، قد يكون القائمون بالمعركة ممن يرتدون زيًّا عسكريًّا باليًا تداعت عليه العثة، ويحملون بنادق عتيقة وقد انمحت من معركتهم أي أدلة واضحة منذ ما يزيد عن القرن، ولكن تبًّا لهذا وليذهب كله إلى الجحيم، فلا تزال مدافعهم تطلق قذائفها؛ هذه حرب فدائية ضد معانقي القرود!

تمكن أعداء التطور المرة بعد المرة من منع تدريس التطور في مدارسنا أو طالبوا بأن تعرض كتب البيولوجيا الدراسية أيضًا «وجهات النظر البديلة» لنظرية التطور، بما في ذلك الأيديولوجيات غير العلمية المفتقرة للمعلومات مثل المذهب التكويني ومبدأ التصميم الذكي، بلغت الحملة ضد

الداروينية درجة من النجاح أدت إلى غرز بذور الشك في عقول كثيرة؛ فجرى استفتاء حديث تردد فيه صدى لنتائج أبحاث مسح في العقدين الأخيرين، حيث تبين أن ٣٥ في المائة من الأمريكيين الراشدين فقط يوافقون على أن «التطور نظرية علمية مدعومة دعمًا جيدًا بالأدلة». ومع ارتفاع مستوى الدراسة، يرتفع أيضًا دعم داروين: فنجد أن ٥٢ في المائة من خريجي الكليات، وكذلك ٦٥ في المائة من ممارسي الدراسات العليا يعبرون كلهم عن موافقتهم على نظرية التطور، ولا يزال هذا يخلف لنا نسبة من ٣٥ في المائة من الأمريكيين هم من أكثر المتشبعين بفلسفة مسيحية القرون الوسطى السكولاستية وينظرون شزرًا إلى أحد المفاهيم الأساسية الوطيدة للعلم الحديث: التطور.

يذهلني دائمًا أني كثيرًا ما ألاقي مقاومة أو شكوكًا تتعلق بالداروينية يبديها أناس هم فيما عدا ذلك عقلانيون، فعلى سبيل المثال: عندما فكرت في تأليف كتاب للأطفال عن التطور، وسألت ابنة عم لي رسامة إن كان يمكنها أن ترسم لي صوره التوضيحية، قالت لي إنها ستفعل، وإن كانت لا تؤمن حقًّا بقصة التطور وكل مسارها من القردة العليا إلى الإنسان. وفي مرة أخرى وقفت لأتحدث إلى زوجين لطيفين للغاية في حفل زفاف صديقة قرب ساكرمنتو — الزوج محامٍ والزوجة سيدة أعمال — ذكرت التطور في حديثي كنقطة للانتقال إلى موضوع آخر كان في ذهني، وإذا بزميليّ في الحوار يصداني في التو؛ قال المحامي: «وإذن أعتقد أن هذا يعني أنك لا تشكين أي شك في أن التطور حقيقي؟»

أجبت في همهمة، وأنا أتفرس في الأعماق البلورية لكأس شراب الشمبانيا في يدي الذي كان خاويًا مما يدعو للأسف: «حسنًا، لست أشك في التطور تمامًا مثلما لا أشك في أني لو أطلقت هذا الكأس من يدي فسوف تشده الجاذبية إلى الأرضية ويتكسر قطعًا صغيرة، وتنزعج العروس لذلك إلى حد بعيد لأنه كأس من كريستال ووترفورد الثمين.»

ضحك الزوجان بفتور ثم تبينا أن هناك صديقًا عزيزًا في الجانب الآخر من الحجرة إما أنه ينادي عليهما أو أنه ينبغي أن يفعل ذلك.

لعل هذا هو السبب في أني لا أُدعى إلى حفلات كثيرة، وعلى كل فإن الأمر قد حُسم بين العلماء، وأصبح حقيقة مباشرة كما بدا في كلامي؛ عندما تترك الكأس من يدك فإنه يسقط أرضًا، عندما تنظر إلى الطبيعة تجد التطور من حولك في كل مكان.

يعمل تيم هوايت عالمًا في الباليونتولوجيا بجامعة كاليفورنيا في بيركلي، وهو يقول: «الدليل على نظرية التطور مذهل ولا جدال فيها.»

واصل دافيد ويك لثلاثين سنة تدريس مقرر من المستوى الرفيع عن التطور في بيركلي، وهو يقول: «الأدلة صلبة صلابة الصخر، ولا يمكن مهاجمتها.» ويقول موضحًا أينما نظرت إلى أبحاث الدواء تجد أن الأرجح أنها تُختبر أولًا على حيوانات المعمل قبل الموافقة على استخدامها للبشر، قد تؤمن كالتكوينيين بأن الأرض عمرها فقط ستة آلاف عام وأن كل مخلوق وضع فيها بما هو عليه كما وضعه الرب وقتها، ومع ذلك فسوف تشعر بأمان أكثر عندما تعرف أن حيوان التجارب الذي ضُحي به من أجلك كان من الفئران وليس عنكبوتًا أو قوقعًا، يقول ويك: «لماذا نجري التجارب على الفئران أكثر مما على العناكب، إلا إذا كان السبب هو أننا نذهم بالسليقة أن الفئران تشبهنا أكثر من العناكب؟ هل يمكن أن يكون لذلك علاقة بالتطور؟»

ريتشارد دوكنز عالم تطور في جامعة أوكسفورد ومدافع لا يكل عن الداروينية ومؤلف كتابي: الجين الأناني، وصانع الساعات الأعمى، وغيرهما من روائع الفكر النير، وقد أعاد عرض قضية التطور عرضًا بليغًا في لقاء مع محقق صحفي في برنامج صالون دوت كوم، قال دوكنز: «كثيرًا ما يقال إنه نتيجة لأن التطور قد حدث في الماضي، ولم نره نحن وهو يحدث، فإنه لا يوجد دليل مباشر عليه، هذا بالطبع هراء، الأمر فيما يتعلق بالتطور يشبه أن يأتي مخبر شرطة إلى مشهد الجريمة، ومن الواضح أنه حضر بعد ارتكاب الجريمة، وأنه يعمل على اكتشاف ما لا بد أن يكون قد حدث بأن ينظر إلى ما تبقى هناك من مفاتيح للغز؛ مفاتيح اللغز في قصة التطور موجودة ببلايين مضاعفة.»

هناك مفاتيح نصل إليها من طريقة توزيع الجينات في كل مملكة الحيوان والنبات، كما يقول دوكنز، وكذلك من التحاليل التفصيلية التي تقارن بين محصول واسع من الخصائص الفيزيائية والبيوكيميائية، ويواصل القول: «ما يوجد من توزيع للأنواع فوق الجزر والقارات في العالم كله هو بالضبط ما نتوقعه عندما يكون التطور حقيقة، توزيع الحفريات في المكان والزمان هو بالضبط ما نتوقعه عندما يكون التطور حقيقة، هناك ملايين من الحقائق تشير كلها في الاتجاه نفسه، ولا توجد أي حقائق تشير للاتجاه الخطأ، عندما سُئل العالم البريطاني ج. ب. س. هالدين عما قد يكون فيه دليل ضد التطور، قال قولته المشهورة: «وجود حفريات للأرانب في أحقاب ما قبل الكمبري.»[9] حفريات الأرانب لا توجد بالمرة فيما قبل الكمبري؛ فلم يعثر أحد على شيء من ذلك أبدًا. من الممكن دحض التطور بحقائق من هذا النوع، إلا أن كل الحفريات التي عثر عليها موجودة في المكان المناسب.»

لن يمكنك أن تستخرج الأرنب المزعج مثلما يفعل الساحر من قبعة عمرها بليون سنة، كما أن الزواحف المجنحة المنقرضة لا يحدث أبدًا أن تشد سيور الممثلة راكيل ويلش، يقول ويك: «لا بد أن تكون في حالة عمى مطلق حتى لا ترى التطور في كل شيء مما نفعله.»

الأصل في جزء له تأثيره على المشكلة يرجع إلى كلمة واحدة صغيرة هي: «النظرية»، عندما تُسمى الداروينية بأنها «نظرية» التطور بالانتخاب الطبيعي فإن هذا يدعو إلى بلبلة شائعة ويجعل العلم معرضًا لهجوم أعدائه العنيدين، سيقول النقاد: ألا تنظر إلى ما يقولون؟ العلماء أنفسهم يسمون التطور نظرية، وليس حقيقة، فمن الواضح أن لديهم شكوكهم، وإذا كان لديهم شكوك كثيرة هكذا، فلماذا ينبغي ألا يشك سائرنا؟ وبهذا الصدد لماذا ينبغي أن نؤمن بنظريتهم، أو «أسطورة التكوين» لهؤلاء العلماء بدلًا من أن نؤمن بأسطورة التكوين لآخرين؟ ويوضح ذلك ما رأيته حديثًا فوق أحد الملصقات: «نظرية التطور: حكاية جن للكبار». يطالب أعداء مذهب

---

[9] أحقاب ما قبل الكمبري هي كل الدهور السابقة لحقب الحياة القديمة، ومن الواضح هنا أن هالدين يسخر من السؤال لأن الحقب الكمبرية وما قبلها لم تكن فيها أي حفريات لأرانب. (المترجم)

التطور في بعض الولايات بأن توضع بطاقات ملصقة فوق الكتب الدراسية للبيولوجيا في المدارس الثانوية توضح أن التطور «مجرد نظرية» وليس «حقيقة».

تبًا، تبًا للعلماء هنا، لأنهم يستخدمون كلمة «النظرية» وهي كلمة فيها تضمين عام «بالحزر»، أو «الحدس»، أو «التخمين»، هكذا قد يكون التطور تخمينًا جيدًا إلى حد بعيد، بل قد يكون تخمينًا مثقفًا بارعًا، إلا أنه نظرية «يمكن أن تكون» وليس «حقيقة بُرهن عليها». أنا عادة لست ممن يروجون للغة الاصطلاحية التقنية، ولكني في هذه الحالة، أود لو يكون للعلماء كلمتهم الخاصة بهم، التي تبين ماذا تعني النظرية لهم؛ إنها مصطلح علمي له صلابة وأبهة ولا تردد فيه، بنفس الأسلوب لمصطلح «الريبوسوم» أو مصطلح «البركاني»، عبارة «نظرية التطور» عبارة تقف ضد أي سوء فهم عارض أو محسوب وتقف ضد أي هجوم لخصوم تعترض طريقها.

أحيانا يكون السيجار مجرد سيجار، وتكون الرحلة إلى القمر بأجنحة خيوط العنكبوت قصة عن مجرد شيء من تلك الأشياء، أما النظرية العلمية فهي لا تكون أبدًا قصة «لمجرد شيء»، عندما يكون لدينا في العلم فكرة لا تزال مما سيوضع موضع الاختبار أو مما يتطلب الصقل بدليل، فإن هذه الفكرة تسمى فرضًا، نشهد شيئًا يحدث في العالم، ثم نطرح طريقة ممكنة لتفسير الملاحظة، وهاهنا يكون فرضنا، والفرض قد يكون نتيجة استدلال بسيط بالقياس بالتشابه، امتدادًا لنتائج أبحاث سابقة على دراسة حالة مشابهة وإن لم تكن مطابقة لحالة دراستنا، أو قد يكون محض تخمين، ومهما كان ما تخمنه معقولًا أو مثيرًا فإنه لن يكون نظريتنا، إنه فرضنا، إنه «مجرد» فرض، حتى نختبر الفرض نصمم له تجربة أو نجمع قدرًا وافرًا من البيانات الميدانية، ونتحمس لوجود مجموعات حاكمة للتجربة، ثم نحلل النتائج ونقويها بالإحصاءات، والآن تصبح عندنا نتيجة؛ فإذا كانت النتيجة تثبت الفرض الابتدائي يمكن لنا أن نواصل التقدم لنصيح صيحة الظافرين، وإذا لم تثبت النتيجة الفرض يمكن لنا أن نواصل التقدم لنحلم بفرض جديد محسن يفسر بأثر رجعي النتائج التي وجدناها؛ هذا هو ما

جُعل من أجله قسم المناقشة في أوراق البحث العلمي، وفي أي من الحالين، ستظل هناك حقيقة باقية قابلة للتحقق ولا تقبل الجدل، ليس لديك نظرية تحمل اسمك بعدُ.

النظرية العلمية، مثل نظرية أينشتين للنسبية العامة، ومثل نظرية الألواح التكتونية، ومثل نظرية داروين عن التطور، هي مجموعة متماسكة من المبادئ أو المقولات تفسر مجموعة كبيرة من الملاحظات أو النتائج، هذه المكونات من النتائج هي ثمرة البحث والتجريب العلمي؛ وبكلمات أخرى فإن هذه النتائج قد تحققت من قبل وغالبًا ما يكون ذلك لمرات عديدة، وهي أقرب لأن تكون «حقائق» من حيث اهتمام العلم بتوصيف خصائصها، ومن الأمثلة البسيطة على ذلك أن علماء الحشرات يكتشفون دائمًا أنواعًا من الحشرات لم تسبق معرفة نوعها. عندما تعسكر في منتزه أديروندكس، أو عندما تنقب في المرجة الكبرى في منتزه سنترال بارك، ربما ستستخرج أنت أيضًا نوعًا جديدًا من الخنافس، يمكنك عندها أن تقترح تسميته على اسم ضابط الشرطة الذي يهددك بدفع غرامة عن تشويه ممتلكات المدينة، إلا أنه مع كل هذا التنوع، يعرف علماء الحشرات أن أي حشرة جديدة يقعون عليها سوف تظهر الخصائص الآتية: وجود ثلاثة أجزاء للجسم؛ الرأس، والصدر، والبطن، وثلاثة مجموعات من السيقان، وقشرة خارجية صلبة، أو هيكل خارجي. توطدت بقوة هذه الحقائق عن الحالة الحشرية، حتى إنها أصبحت جزءًا من أغنية أسبانية تعلمتها ابنتي في روضة الأطفال. الصفات هي الخصائص المشتركة التي تحدد الخصائص التصنيفية لطائفة الحشرات، وهي نتيجة أن الحشرات كلها قد انحدرت من سلف مشترك. ها هنا إذن حقيقة صغيرة متواضعة، واحدة من بين حشود، أفضل طريقة للنظر إليها وفهمها تكون في ظل ذلك الغطاء المثير الشاسع، الإطار التفسيري الرائع الذي يسمى نظرية التطور. لماذا نجد أن عددًا كبيرًا هكذا من مخلوقات الأرض لديها ست سيقان، وثلاثة أجزاء رئيسية لجسمها، وغطاء خارجي صلب؟ لأنه منذ ثلاثين مليون سنة أو ما يقرب انحدرت أنواع الحشرات الموجودة حاليًّا من كائن سلف يحمل هذه التوليفة الفائزة، جد أعلى حقيقي

عاش في وقت ما أثناء العصر الديفوني[١٠] منذ ما يقرب من ٤٠٠ مليون سنة. ولكن لماذا نجد أن حشرات صرار الليل، وخنافس الروث، واليعسوب، وقمل الرأس، والزنابير، والأرضة، وفرس النبي وباقي حشود هذه المجموعة من الكائنات الحية يختلف كل منها اختلافًا بالغًا عن الآخر؟ ذلك أنها سلالة تنحدر بتعديلات، عندما انتشرت الحشرات موزعة وأخذت تقطن في نطاق واسع من مآوي البيئة، تطورت لتلائم موقعها، هنا يخطو الانتخاب الطبيعي متدخلًا ويضرب ضربة خاطفة، ثم ياللعجب، إنه لأمر طيب حقًّا أن يحدث لي عن طريق تغير طفري عشوائي أن أغدو مشابهة لورقة الشجر التي أقبع عليها؛ فأيًّا كان ما تركز عليه من بين الحقيقتين الآتيتين، فإن التنوع بين الحشرات، هو أو الصفات التي تجمع بينها لا يكون لأي منهما معناه إلا في ضوء التطور، أي في ضوء «نظرية» التطور.

أو هيا نقارن بين أفراد تلك المجموعة الرباعية من الأطراف الأمامية؛ جناح الخفاش، وزعنفة البطريق، وساق السحلية، وذراع الإنسان: يبدو ظاهريًّا أن هذه الزوائد أو الأعضاء الموصولة تختلف تمامًا أحدها عن الآخر وأن كلًّا منها يؤدي وظيفة متميزة: الطيران، السباحة، حركة اندفاع كالسهم، شراء أجهزة إلكترونية كالمحمول، تثبت بالرأس وتترك الأيدي حرة الحركة. إلا أنه يقبع تحت هذا الاختلاف تماثل في الهيكل العظمي، ذلك أن كل طرف من هذه الأطراف الأمامية يحوي نفس المجموعة الواحدة من العظام الأربع: عظمة العضد، والكعبرة، والزند، والعظام الرسغية، تُفرش هذه العظام منبسطة في جناح الخفاش، وهي تتجمع في طرف كحرف V في زعنفة البطريق، ولكنها مرئية بوضوح بأشعة إكس كتشريح متجانس من العظام. النمو الجنيني فيه إثبات آخر لما يوجد من صلة ارتباط؛ فلو شاهدت فيلمًا يبين الفترات الزمنية لنمو جنين هذه الحيوانات — جنين السحلية والبطريق في بيضتيهما، وجنين الخفاش والإنسان في رحمهما — فسترى

[١٠] العصر الديفوني: الدور الرابع من حقب الحياة القديمة الباليوزي، واسمه مشتق من مقاطعة ديفونشير بإنجلترا، وأهم حفرياته الأسماك والمرجانيات الرباعية والسرخسيات، وقد انتهى منذ نحو ٣٥٥ مليون سنة. (المترجم)

عظام الأطراف الأمامية الأربعة وهي تبرز متبرعمة من الأجزاء التمهيدية نفسها في الجنين. هذا التماثل الحميم بنيويًّا وتنمويًّا يدمغنا جميعًا بعلامة تدل على أننا سلالة لأول حيوان فقاري بأربعة أطراف، أولئك الأجداد الجسورون بأرجلهم الأربع الذين استبدلوا اليابسة بالبحار، يثبت بنيان هيكلهم العظمي الأساسي أنه ملائم كل الملاءمة لتحديات سكنى اليابسة بحيث نجد أن كل الأطراف الأمامية للفقاريات هي تأملات معدلة في موضوع «العضد — الكعبرة — الزند — الرسغ» نحن نحمل شعار النبالة لذوي الأطراف الأربعة وهو يعلو أكمام سترتنا.

ملاحظة هالدين الساخرة حول الموقع الصحيح لحفريات الأرانب هي نتيجة أخرى لها أساسها الوطيد، حقيقة لا بد من مواجهتها، لن تجد أي حفريات لأرانب في طبقة تقع فيها بقايا ثلاثيات الفصوص، ثلاثيات الفصوص تبدو كنقوش مألوفة في صخور الحياة القديمة، ولها أشكال مختلفة تشبه سرطان حدوة الحصان، والصراصير، وأيقونات الفيديو من طراز «Game Boy»، وقد ظلت ثلاثيات الفصوص هي الشكل السائد للحياة في محيطات الأرض لمدة ثلاثمائة مليون سنة. كان هناك أكثر من ١٠٠٠٠ نوع من ثلاثيات الفصوص، يتراوح طولها من المليمتر الواحد — مثل علامة الفاصلة التي مررت بها حالًا — حتى كائنات يصل طولها إلى طول ذراعك، تتغذى ثلاثيات الفصوص على ما يوجد في القاع، فهي ترعى أعشاب البحر، إنها ثلاثيات الفصوص القاضمة، وهي تتنفس وتسبح بواسطة خياشيمها، ولديها أعين لا مثيل لها؛ تتكون عدسة العين العادية من جزيئات بروتين، أما عدسة ثلاثيات الفصوص فتشبه شريحة مرمر، مصنوعة من كالسيت معدني، إلا أن هذه الأعين الحادة الصغيرة بذلت كل ما في وسعها حتى انتهى أمرها منذ ما يقرب من ربع بليون سنة، انقرضت ثلاثيات الفصوص عند نهاية العصر البرمي،[١١] ومعها ٩٠ في المائة من كل الأنواع البحرية الأخرى على كوكب الأرض. من المرجح أن آخر ثلاثيات الفصول قد طبعت صورتها طبعة

[١١] العصر البرمي: المرحلة السادسة والأخيرة من حقب الحياة القديمة الباليوزي، والاسم مشتق من مقاطعة بيرم في روسيا، وقد انقضى منذ مائتي مليون سنة تقريبًا. (المترجم)

خالدة بما يسبق بنحو ٢٠ مليون سنة ظهور أي بقايا لأقدم الثدييات التي أمكن رصدها في سجل الحفريات، ناهيك عن ظهور أول أرنب، فهذا يرجع تاريخه وراء منذ ٥٧ مليون سنة أو ما يقرب من ذلك. علماء الباليونتولوجيا قد رأوا ذلك وأوضحوا ما شاهدوه المرة بعد المرة، الحفريات توجد في المكان المناسب وتعود إلى الوقت المناسب، وتتكدس الحفريات الأحدث في طبقات فوق الحفريات الأقدم. وجدت ثلاثيات الفصوص في العالم كله وسواء قمت بالحفر في أستراليا أو النمسا أو سنسيناتي في أمريكا فستجد حفرياتها دائمًا تتخذ موقعها في طبقات رسوبية تقع بالضبط عند العمق والموضع النسبي الذي نتوقع أن توجد فيه تلك الكائنات التي ازدهرت منذ نصف بليون سنة. ينطبق الشيء نفسه على حفريات الديناصور، أو عظام الثدييات القديمة الوحشية من عصر الأوليجوسين[١٢] عندما يقرب من سنة ٣٥ قبل الميلاد، مثل الإندريكوثيريوم Indricotherium، أو رينوسيروس الزراف، وهي أضخم ثدييات الأرض وتُعد من النوع اللطيف الفاشل من البرونتوصور آكل العشب، ثم هناك الأركيوثيريوم Archaeotherium ذلك الوحش الذي يشبه خنزيرًا بريًّا بحجم الثور، وله ناب مقوس كالمنجل في المكان الذي توجد فيه الأنياب القواطع، وهناك كذلك الكانوثيريوم Cainotheroum وهو حيوان له خف ويُعد على صلة قرابة بعيدة بالجمل، إلا أن له وجهًا وأذنين وساقين أماميين مثل الحيوان التميمة عند هالدين، أي الأرنب؛ فأينما وجدت الحفريات تر أنها في المكان الملائم. حفريات الزراف الخرتيتي توجد في طبقات يمكن إرجاع تاريخها إلى عصر الأوليجوسين، وتتكدس هذه الحفريات فوق حفريات العصر الجوراوي[١٣] والعصر الثلاثي.[١٤] اتساق سجل الحفريات والتتابع في

[١٢] عصر الأوليجوسين: ثالث عصور حقب الحياة الحديثة، وأوليجو معناه القليل جدًّا، وسين تعني الحديث، وقد مضى عليه ٢٦ مليون سنة. (المترجم)

[١٣] العصر الجوراوي: الدور الثاني من حقب الحياة الوسطى (الميزوزوي)، وقد سمي باسم جبال جورا غرب سويسرا، وفيه سادت الزواحف الضخمة (الديناصورات) وظهرت أول الطيور، وانتهى منذ ما يقرب من ١٣٥ مليون سنة. (المترجم)

[١٤] العصر الثلاثي (الترياسي): أول أدوار حقب الحياة الوسطى، وفيه أخذت الزواحف تنتشر، وانتهى منذ نحو ١٩٥ مليون سنة، وسمي بالثلاثي لأن مكتشفي صخوره في ألمانيا قسموها لثلاثة أقسام. (المترجم)

بنيته كلها حقائق، حقائق ضخمة تقبل المواجهة، ومدعومة بطرق عديدة وافرة هي أكثر من طرق لوس أنجلوس الرئيسية.

التطور «نظرية» علمية: ليس مجرد تخمين، ولا حتى مجموعة من التخمينات، وإنما هو تركيب هائل يجمع معًا «حقائق» أو نتائج غاية في المتانة وقيمة عدم احتمالها إحصائيًّا أو قيمة (P) صغيرة جدًّا، إنها نظرية تجعل هذه الحقائق مفعمة بالمعنى، النظرية العلمية لها أيضًا قدرة على التنبؤ؛ نستطيع حسب توجيهها وإرشادها أن نولد أفكارًا جديدة حول طريقة عمل العالم، ثم نضع هذه الأفكار موضع الاختبار، مثال ذلك، إننا نستطيع بواسطة الاستدلال التطوري أن نتوصل إلى استنتاجات معينة حول العلاقات بين مختلف الكائنات الحية. حدث في وقت يسبق كثيرًا فهم العلماء لأي شيء حول الشفرة الوراثية، قبل التوصل لتركيب الدنا (DNA) الذي فيما يُعتقد قد أوضح الأمور، حدث قبل ذلك بكثير أن صنف العلماء الكائنات الحية إلى مجموعات تربطها علاقة قرابة وفقًا لتشريحها وسلوكها؛ فحددوا أن الفئران والبشر من الثدييات، وأن الفئران تشاركنا أشياء أكثر كثيرًا من العناكب: الأعضاء، والمخ، والجهاز الدوري، والتركيب الكيميائي، والجهاز المناعي، وعادات التكاثر، وعدد الأعين والأطراف، كلها عند الفئران قريبة مما عندنا أقرب مما عند العنكبوت أو الذبابة، ومن ثَمّ فإن علماء الوراثة أمكنهم بسهولة أن يتنبئوا بأن هذه القرابة بين الفأريات — البشر تمتد لتصل مباشرة إلى خيوط جيناتنا، وإلى القواعد المنفردة، والوحدات الفرعية الكيميائية التي يتكون منها دنانا. هكذا بكل تأكيد، ما إن أخذ العلماء في تفهم الشفرات الوراثية لأنواع شتى من الكائنات الحية، حتى وجدوا أنه كلما كان الكائن الحي أقرب ظاهريًّا للإنسان كان أقرب له في حمضه النووي أيضًا، ويتطابق حمض الفأر النووي بنسبة ٧٠ في المائة مع حمضنا في حين أن حمض ذبابة الفاكهة النووي يتطابق معنا بنسبة ٤٧ في المائة فقط.

يستطيع العلماء أن يذهبوا إلى أبعد من ذلك في تنبؤاتهم حول الأنساب الجزيئية، لا ريب في أننا وراثيًّا أكثر قربًا إلى الفئران من قربنا إلى الذباب،

ولكن كيف يمكن أن يكون ما يقرب من نصف حمضنا النووي لا يزال يشبه ذلك الموجود عند الذباب، تلك الكائنات بما لها من الأعين المركبة، والسيقان المنحنية للخلف، التي ترغب رغبة دائمة في أن تتخذ مقر إقامتها في دورة مياه متنقلة من طراز «بورتا-جون»؟ وبهذا الصدد أيضًا، نحن نشارك الخميرة بخمس شفرتنا الوراثية، وهي كائن ليس له رأس ولا بطن ولا أي شيء آخر يتطلب تعدد الخلايا، ترى ما هي أنواع الجينات التي يمكن أن تربطنا بالفطر؟

كما هو معروف، هناك الكثير من المهام الأساسية الروتينية التي لا بد لكل خلية من أن تعرف طريقة أدائها، سواء كانت الخلية في الظبي الأفريقي، أو خميرة الخبّاز، أو عظمة عضد الإنسان، أو عقدة الذبابة، فإنها لا بد أن تكون قادرة على تناول المواد المغذية، والتخلص من النفاية، وأن تبقى في حالة سليمة، وأن تنقسم عندما يطلب منها ذلك. يستطيع المرء هكذا أن يتنبأ بأن الجينات التي ترمز لهذه المهام الأساسية هي الجينات التي يقل احتمال تغيرها إلى أدنى حد عبر الزمان التطوري — أيًّا كان من يرثها — وهذا هو ما وجده بالضبط علماء الوراثة. جينات الحفاظ على الخلية وانقسامها هي من نماذج العينات التي تقدمها الطبيعة وقد حافظت عليها أحسن الحفظ. ينبغي أن نبدو جميعًا — بعد نصف بليون سنة من التطور بشده وجذبه — ونحن بلا تغيير جديد في ذلك، تمامًا مثلما لا تتغير التعليمات الوراثية التي تطلب من الخلية أن تنقسم إلى اثنين. العلم في الحقيقة قد استفاد من شفرات الحمض النووي الأزلية التي لا تكل عن العمل الشاق استفادة رائعة، تعلّم الباحثون عن طريق دراسة جينات الخميرة التي تشرف على انقسام الخلية أسرارًا عن مرض السرطان البشري أكثر مما ترضى هذه الأورام الخبيثة نفسها بأن تتنازل بإفشائه؛ خلايا الأورام دميمة مرتبكة ويصعب التعامل معها، أما خلايا الخميرة فهي طيعة وكريمة (لا تنس أنها تعطينا النبيذ). إذا توصلنا ذات يوم إلى أن نعلن انتصارنا في الحرب المثيرة «ضد السرطان» فسوف تستطيع نظرية التطور عندها أن تنادي بما لها من فضل لأنها هي التي شحذت أسلحتنا.

هناك سبب آخر لأن تبدو نظرية التطور أحيانًا أقل صلابة مما هي عليه، وينبع هذا السبب من بعض ما يدور من مجادلات ومماحكات عنيفة بين علماء البيولوجيا التطورية بشأن بعض التفاصيل؛ ذلك النوع من المجادلات الذي يعد في معظم فروع المعرفة العلمية الأخرى أمرًا يهتم به المتنافسون وأفراد قائمة بريدهم الإلكتروني فقط، أما الداروينية التي تُعتبر الرياضة القومية الدموية، فإن الجميع يريدون المشاركة في النسخ الكربونية لبريدها الإلكتروني. يتجادل بالفعل علماء البيولوجيا التطورية حول ميكانيكا التغير التطوري، ومدى سرعة حدوثه، وطريقة قياس معدل التغير بالتطور، وهل يحدث التحول تدريجيًّا وتراكميًّا، في تسكع وتلكؤ وضياع للوقت والجهد، لجيل بعد جيل؟ ولكنه تغير يعمل دائمًا على أن يبقى متقدمًا بمدى صغير كالتقدم بالأنف في سباق الخيل، حتى يحدث — ويا للعجب — أن تجد أن لديك ثمرة موز تلبسها فوق منقارك؛ هل الأمر هكذا؟ أو أن ما يحدث في الواقع هو أن تمر فترات زمنية طويلة دون أن يقع الكثير، فتحافظ معظم الأنواع على أنفسها في وضع مريح من ركود وسكون، ثم توجه إحدى الأزمات ضربتها — كويكب يصطدم بالأرض، أو براكين تثور لتجعل السماء وكأنها تكتسي برداء من الكبريت والرماد — وعند هذه النقطة قد تنشأ تغيرات تطورية ضخمة وسريعة جدًّا.[١٥] ويتجادل العلماء بشأن ما يكوّن أحد الأنواع، وأين نضع الخط الفاصل بين نوعين متميزين حقًّا، كل منهما جدير بالتكويد بتسميته حسب التصنيف «الليني»؟ أو أين نضع خطًّا بين عشيرتين فرعيتين في النوع نفسه؟ وهم يتشاجرون حول الصلة بين التطور والعاطفة الرومانسية، وهل تختار الأنثى المواقَعة مع أحد الذكور على أساس تقديرها بحرص لنوعيته الوراثية الأساسية، أو لملاحظتها أن كل أنثى أخرى تطارد هذا الذكر فاستنتجت أن هذه الإناث ربما تعرف

[١٥] كان الراحل ستيفن جاي جولد يحبذ هذا السيناريو الأخير ويسميه الاتزان المتقطع، بمعنى وجود استقرار تطوري كمعيار طبيعي، يقطعه من آن إلى آخر انقراضات بالجملة وتجديدات تطورية، قدم جولد الداروينية للجمهور العام بصفته عالمًا وكاتبًا للمقال ومؤلفًا لكتب في قائمة أفضل الكتب مبيعًا، وقد بذل في هذا كله جهدًا يفوق ما بذله أي شخص آخر، ولهذا السبب فإن نظرته في تناول الموضوع كان لها انتشارها الواسع. (المؤلفة)

شيئًا لا تعرفه هي، أو لأن أنف هذا الذكر يذكرها بصنف طعام مفضل لديها، وهي جائعة؟

لكن علماء التطور مهما كان من عراكهم حول التفاصيل، فإنهم لا يختلفون حول الأساسيات؛ فهم لا يتجادلون حول حقيقة التطور، أو حول أن الأنواع الموجودة الآن قد تطورت من أنواع سابقة، وهم لا يختلفون حول المحرك الذي يسوق التغير التطوري كما شرحه شرحًا رائعًا تشارلز داروين وألفريد والاس منذ ١٥٠ سنة؛ محرك الانتخاب الطبيعي، الانتخاب الطبيعي هو القوة التي تحول الانجراف والعشوائية إلى هبة بالغة الكرم، فهو يتناول القانون الثاني للديناميكا الحرارية وما فيه من نزعة نظرية للتراخي، نزعة كل منظومة لأن تغدو أكثر اضطرابًا في نظامها بمرور الوقت، ويعيد صياغة القانون ونزعته ليتحول إلى سحر، ماكينة لكل هدف، تصنع الهدف، وتدور هنا وهناك لتحطم سيقان الأنتروبيا وركبها.

المنطق الأساسي للانتخاب الطبيعي بسيط للغاية؛ الآباء يلدون نسلًا كثيرًا، فهم كقاعدة يلدون نسلًا عدده أكثر مما يتوقع له أن يبقى حيًّا، هذا النسل يشبه والديه، ولكنه لا يماثلهم بالضبط، دنا في كل طفل هو نسخة من دنا الوالدين ولكنها نسخة فريدة، أُعيد توزيع مكوناتها وضفرها وتثبيتها أو أعيدت صياغتها، هناك جينات كانت قابعة في سبات عند الأم تظهر في الطفل بصلابة عود ونشاط، في حين أن صفة متنحية عند الأب يخمد صوتها عند وصولها للابن، ثم بعد ذلك قد يكون هناك في هذا المزيج بعض مكونات جديدة تمامًا؛ فقد تكون هناك طفرة جديدة، تغيير بسيط في حروف الهجاء الكيميائية لأحد الجينات أثناء توريثه من أحد الوالدين لذريته، وما الذي يمكن أن تتوقعه عندما تعيد نسخ دنا، فتنسخ هكذا جملة طولها ثلاثة بلايين من الحروف؟ الحياة — مثل أي شيء آخر — ترتكب أخطاء، والطفرات جزء من هذه اللعبة الممتعة. والأمر كما يوضحه يوجي بيرا بطل البيسبول بالضبط إذ يقول: «لو كان العالم مكتملًا كمالًا مثاليًّا لما كان له وجود، وما لم تكن هناك آفات محتومة بالديناميكا الحرارية أثناء برنامج نسخ الدنا، لبقينا جميعًا ونحن آفات من نوع مختلف: كائنات

وحيدة الخلية، نوع من بكتريا قديمة بدائية تتماثل وراثيًّا وتتدفق بسعادة مع نبع ساخن، كما فعلت قدامى البكتريا عند البداية.»

تنشأ أوجه الاختلاف في المستودع الجيني عن طريق الطفرات وإعادة توزيع الدنا وتعطي بذلك للطبيعة بعض شيء تختار منه، الطبيعة لها الآن خيارات تتخذها من بين حشد وافر من الذرية، إذن فلتبدأ الغربلة؛ يولد أحد الميكروبات وفيه طفرة أيض تتيح له زيادة في هضمه ونموه أكثر مما يستطيعه المواطنون المشاركون معه في برنامج صخرة الستروماتوليت التي ترسبها هذه الميكروبات، يلتهم هذا الميكروب بنهم أي مصادر يمكنه أن يلف حولها غشاءه ذا الأحماض الدهنية بما في ذلك — ويا للعجب! — خلية البكتريا الأم التعسة التي اتفق أنها أنجبته، سرعان ما يأخذ هذا الميكروب النهم الصغير السن في إفراخ بوغاته الخاصة، ويكون الكثير منها مزودًا بهذه الطفرة الأيضية بما لها من ميزة، وتؤدي هذه القبيلة إلى أن تدفع للضياع والزوال وحيدات الخلية الأكثر هدوءًا، يمر الزمن على مئات قليلة من الأجيال أو على مئات الآلاف منها ثم ينشأ خطأ سعيد آخر، يكون هذه المرة في جين يملي طريقة أداء أحد عناصر غشاء الميكروب، ويؤدي ذلك إلى أن يثبت أن هذا الميكروب يغدو حساسًا على نحو غير معتاد للتلميحات التي تأتي من جيرانه، فيستطيع أن يعرف من هم الموجودون في أحد الأماكن، وماذا يفعلون وكيف يستطيع الميكروب أن يستفيد من جهود عمل جيرانه. وقبل أن تدرك أنت أو أي شخص آخر ما يكون الأمر، تجد أن هذه الأداة الموروثة المتنصتة قد ولدت جيشًا من المتسللين، وأن عالم الكائنات وحيدة الخلية، غير المتعاونة وغير الاجتماعية بما فيها من أنانية، هذا العالم يخلي الطريق للكائنات المتعددة الخلايا، التي تتفاعل معًا وتتأسس أنانيتها على الانتماء لمجتمع. لا شك في أنه سيترتب على هذا التجديد المتسامي أن يتبعه ظهور الإقطاع، والمَلكية، والديمقراطية، وبلوتوقراطية الأثرياء، واتحادات ما بعد الحداثة، وألعاب مباريات «مونوبولي» (الاحتكار) و«كلو» (الكشف عن المجرم).

هكذا فإن الانتخاب الطبيعي تمرين من خطوتين بإمكانات لا حصر لها تقريبًا: الخطوة الأولى أن تنشأ تغيرات وراثية صغرى بالصدفة في إحدى

العشائر، تولد إحدى الضفادع وفيها طفرة تجعل رأسها في شكل غريب كالشكل الهندسي لشبه معين، تحملق فيها الضفادع الأخرى وتصدر ضجيجًا وقحًا من التجشؤ وهي تمر بهم قافزة، وبالطبع يرتد كل هذا النقيق عليهم؛ فتلك الضفدعة الغريبة التي تشبه فتاة رسمها الفنان التكعيبي براك،[١٦] يثبت في النهاية أنها تشبه شبهًا كافيًا ورقة هاوية من شجرة تمتزج بأرضية الغابة، وهكذا عندما يأتي طائر محب لأكل البرمائيات ليلتقط طعامه بمنقاره سوف تبقى هذه الضفدعة الغريبة حية بعد أن يلتهم الطائر من كانوا يسخرون منها. تحدث طفرات إضافية بين ذريتها يتصادف أنها تزيد من فعالية شكلها المموه، وفي كل مرة تنشأ فيها عباءة تنكرية أفضل، يحابي الانتخاب الطبيعي حاملي هذه العباءة محاباة تكفي سريعًا لأن تغدو الطفرات هي المعيار الطبيعي لهذا النوع. نجد حاليًّا أن ضفدعة ورقة الشجر الشهيرة في جزر سولومون تبدو مشابهة شبهًا بالغًا لورقة الشجر، حتى إنك لا تملك مرة أخرى إلا أن تهز رأسك بما يكاد يكون تكذيبًا لما تراه. هذا أمر سخيف! كيف يمكن لطفرة عشوائية أن «يصادف» أن تنحت زوايا معدودة في شكل ضفدعة؟ كيف يمكن لانحراف في جين عادي لأحد الكائنات البرمائية أن يستثير ظهور شيء أخرق للغاية ويتفق أيضًا أنه مفيد للغاية؟ ناهيك عن أن تحدث سلسلة من تغيرات وراثية عشوائية يتفق بالضبط أنها تحسّن من تأثيرات التنكر للطفرات السابقة، ما هي نسبة احتمال أن تؤدي سلسلة من أحداث فوضوية إلى التحول إلى تنكر كامل مثالي؟

الحقيقة أنها نسبة احتمال عالية، فالضفادع تخضع لضغط لا يتوقف من نطاق واسع من المفترسين؛ هناك طيور، وأفاعٍ، وسلاحف، وثدييات، وضفادع أخرى، وعقارب، وعناكب ذئبية، وهناك الشيف الفرنسي المشهور جاك بيبان، كلها تسعى وراء الضفادع وسيقانها التي تجسد حزمًا لطاقة مكثفة مقرمشة، وتستطيع مجموعة أفاعٍ صغيرة مثابرة أن تمحو من الوجود أكثر من مائة ضفدعة في عملية صيد واحدة عند الشفق.

[١٦] جورج براك (١٨٨٢–١٩٦٣م) فنان فرنسي هو أحد مؤسسي مدرسة الرسم التكعيبي. (المترجم)

إلا أن الضفادع تعوض تعرضها تعرضًا بالغًا للهجوم بأن تتناسل بكثرة تماثل تناسل أي نوع آخر من الفرائس التي تثب بسرعة، وهذه الخصوبة في التناسل — إلى جانب أنها تؤكد أن هناك على الأقل بعض الضفادع ستبقى حية حتى سن الإنجاب — يتولد عنها أيضًا وجود فرص للتطور؛ فإن هناك عددًا هائلًا من صغار الضفادع يُنتج في جيل واحد، سيكون من المتوقع أن يظهر عرضًا أخطاء نسخ رائعة: كل خطأ يكون فيه قفزة دفاعية للأمام سينتخب سريعًا، وسرعان ما نجد أن ما كان عارضًا يغدو أساسيًّا، ويغدو معيارًا للنوع قد تنشأ عنه، أو لا تنشأ تنقيحات أخرى.

الحشرات أيضًا يكون لديها معًا الحافز والآلية لتطوير روتين فيه إنتاج لحشود مبهرة بكثرتها يصعب أن تميز فيها فردًا بعينه. كل من في العالم يأكل الحشرات سواء عن رغبة في ذلك، أو في فترات ما بين الزيارات التي يؤدي فيها مفتشو الصحة في المدينة مهمتهم. الحشرات تعوض مأساة قصر حياتها بخصوبتها المذهلة، أحد الأمثلة المفضلة لديّ لوفرة النسل الصرصور الألماني الشائع بلاتيلا جيرمانيكا Blatella germanica إذا تُرك هذا الصرصور بغير قيود، تستطيع الأنثى الواحدة منه أثناء حياتها لمدة اثني عشر شهرًا أو ما يقرب أن تنجب ذرية من ٤٠ مليونًا من الأفراد، وأي رهان على ذلك مضمون تمامًا مثل ضمان هيئة التأمين الفدرالية للودائع. لهذا الصرصور الألماني لون بني مغبر يناسب موطنه البيئي الحضري، إلا أنه أيًّا كانت المناسبة فإن أي حشرة تستطيع أن ترتدي الزي الملائم لها؛ حشرة ورق الشجر الجاوية لا تكتفي بأن تتخذ شكل العرق المركزي للورقة وما يتفرع منه من عروق، بل يبدو عليها أيضًا مظهر الثقوب الصغيرة والأحرف الممزقة التي نتوقع وجودها عندما تؤكل أجزاء من الورقة بواسطة ... الحشرات، حشرة الفرع تبدو كفرع شجرة، وتتصرف كالفرع، بمعنى أنها لا تكون مثبتة بأكثر مما ينبغي، أو ساكنة بما يثير الشك، وكما أن أجزاء الشجرة الحقيقية تنثني بالريح، فإن الحشرة الفرع القابعة سوف تتأرجح متخشبة على نحو متقطع جيئة وذهابًا، حيوان يقلد

نباتًا يقلد رقصة حوريات الغابة في الليل. على أن ما أُعطي له صوتي باعتباره أكثر تنكر متأنق هو تنكر يرقة فراشة الذيل الخطافي، التي تشبه كل الشبه الجوانو أو براز الطيور البحرية المترسب حديثًا.

تظهر في قبيلة الحشرات الواسعة النطاق وأقربائها من المفصليات نماذج لكل ما يمكن تصوره من الاستراتيجيات، وكل ما يمكن حشده من الأسلحة؛ هناك المحاكاة، والمظهر المبهم المعتم عليه، والتهديد بالموت أو سوء الهضم، أي سم يمكنك أن تذكره ستجد الخمّار من المفصليات في الحانة على استعداد لأن يقدمه في حانته. العقرب السوطي ينثر شرابًا لافحًا من خليط يُمزج بنسبة واحد إلى اثنين: هناك حامض الكبريليك الزيتي الذي ينفذ ليخترق حتى أقوى غشاء خارجي للمهاجم، ثم حمض الخليك المذاب في الماء ليحرق الأنسجة اللينة تحت الغشاء. حشرة «راكب الشيطان»[١٧] تدعم تنكرها المموه الدفاعي بالمدفعية الكيميائية، فتطلق جداول من زيوت التربين وهي مواد كيميائية قوية تشبه العنصر النشط في مكونات نعناع القطط البري وهو عنصر يجعل هذا النعناع البري كريه المذاق لأي كائن إلا القطط التي تحبه حبًّا لا تفسير له، ولو رأيت طائر الزرياب الأزرق وقد أصابه في وجهه رشاش الحشرة لأدركت أن هذا الطائر لن يشك أبدًا بعد ذلك في أمر عود شجر. بعض الديدان الألفية تحوي جرعات كبيرة من مركب شبيه بهرمون البروجستيرون قد تفيد كاستراتيجية دفاعية على المدى الزمني الطويل بأن تعوق خصوبة أعداء هذه الديدان، لن تكون هذه النتيجة البعيدة ذات فائدة كبيرة للدودة التي تُفترس ويُضحى بها كأنها حبة من حبوب منع الحمل، إلا أن الدودة الفريسة تقلل هكذا من عدد مفترسي الدود في المستقبل، وبهذا فإنها تدعم الأقارب الباقين أحياء من الديدان الألفية.

الحشرات لديها الوسائل والدافع لتركيب كيماويات دفاعية بأعداد تفوق ما لدينا نحن البشر من وقت لنحسب عددها ونختبرها، كذلك فإن الحشرات

[١٧] حشرة راكب الشيطان يركب الذكر فيها دائمًا فوق الأنثى سواء كانا في حالة مواقعة جنسية أم لا. (المترجم)

لديها موهبة وحماس للتفوق على ذكائنا عندما نحول أسلحتنا الكيميائية ضدها، عندما نتذكر التاريخ الكئيب للمبيد الحشري دي دي تي، نتذكر معه فصول الربيع التي أسكت فيها تغريد الطيور والسماوات التي زال ما فيها من النسور الصلعاء، إلا أن الفشل الحقيقي في حملتنا بمبيدنا الحشري ضد البعوض والأمراض التي يحملها، كان في مدى السرعة التي تخلصت بها هذه الحشرات الماصة ذات الطنين من تأثير رشّنا للمبيد؛ فعندما حُظر استخدام الدي دي تي في الولايات المتحدة عام ١٩٧٢ كان هناك تسعة عشر نوعًا من البعوض — أي ما يقرب من ثلث البعوض الناقل للملاريا — قد اكتسبت مناعة ضد هذا المبيد. هل تصادف أن أحدًا ممن تعولهم وتحبهم قد تعرض قريبًا لأي نوع من قمل الرأس؟ إذا كان هذا لم يحدث، فإما أنك تعلم أطفالك في المنزل أو أن أطفالك غير محبوبين للغاية؛ فقملة الرأس بيديكيولس كابيتيس Pediculus capitis، طفيلي ماص للدماء، له ولع خاص بفروة رأس الأطفال اللينة نسبيًّا، وقد أصبحت في السنوات الأخيرة عنصرًا أساسيًّا للطفولة الحديثة لتصبح أحد العناصر الأساسية الأخرى مثل جهاز كشف المعادن في فناء المدرسة، وحقيبة الظهر التي تزن ثلاثين رطلًا، وسبب ذلك بسيط: فقد أصبح قتل قمل الرأس صعبًا بالغ الصعوبة، وغدت هذه الحشرات محصنة واقعيًّا ضد السموم ذات التأثير غير الحاد، كمواد البيرثرين — وهي العناصر الفعالة في شامبو القمل الذي يُشترى من على الأرفف — كما أن أطباء الأطفال يحجمون، على نحو مفهوم، عن التوصية باستخدام سموم أقوى لفروة الرأس حيث يسمح مدى المسافة الصغير بتسرب السم إلى أمخاخ الصغار القابلة للتأثر، وهكذا لا يبقى أمام الوالدين إلا القيام بالمهمة الصعبة غير الكفء لالتقاط بيض الحشرات باعتبار أن ذلك هو الدفاع الأولي ضد القمل، وهذه وسيلة تضمن إلى حد بعيد أنه سيظل هناك دائمًا مستودع للحشرة الطفيلية في مكان ما، حيث تستعد الحشرة لأن تعدي رءوسًا جديدة تكون اليوم في توبيكا عاصمة كانساس، أو تسترد رءوسًا في مواسمها في وقت ما في المستقبل ويكون ذلك مثلًا في دي موانز عاصمة أيوا.

المعدل الذي تغدو به الحشرات محصنة ضد سمومنا وتغدو به البكتريا محصنة ضد المضادات الحيوية أصبح في الغالب معدلًا سريعًا سرعة كافية لأن نلاحظه، في إحدى السنين أفادت الفخاخ ذات الطُّعم في حل مشكلتي مع النمل، وفي السنة التالية راقبت النمل في فزع وهو يسير قدمًا ومباشرة خلال الأقراص المطاطية الصغيرة للعبة الهوكي دون أن تفوت الحشرات أي ذرة تأكلها وهي تتخذ طريقها إلى طبق وجبتها الرئيسي عند طبق طعام القطة. أو تلك الحشرات من صرار الليل التي تتكاثر وتتبرز بحرية في بدرومنا: يرش زوجي في كل ربيع السم في شقوقها المفضلة ومواقع وضعها للبيض، كان هذا العلاج ناجحًا حتى آخر ربيع وكان يدمر حشرات الصرار، هذا العام، إما أن العلاج لم ينجح، أو أن مفعوله كان مثل مفعول الإشعاع في النمل في رواية الخيال العلمي الكلاسيكية في خمسينيات القرن العشرين وعنوانها «Them!» إذا كان لديك أي شك في أن التطور يحدث، فإني أدعوك للتوقف عند بدرومنا حيث حشرات الصرار الآن تبدو مثل الكنجرو.

أيًّا ما تكون الحشرة موضع الحديث، فإن مقاومة المبيدات الحشرية أمر يتوافق مع الخوارزم الدارويني، الاختلاف الجيني العشوائي يظل ينشأ طول الوقت في أي من العشائر خاصة عند الكائنات السريعة التكاثر، ومعظم هذه التباينات إما أن لها نتائج قليلة الأهمية أو أنها غير مطلوبة على نحو حاسم، ومن ثَمّ فإن الضغوط الانتخابية تتجاهلها، أو أنها تُكتسح سريعًا من المستودع الجيني، إلا أنه يحدث من حين إلى آخر أن تنشأ طفرة لها فائدة هائلة مثل مقاومة السم، وسرعان ما تصبح الصفة الجديدة المعيار الطبيعي للنوع.

وقوع تغير مفاجئ وراثي قد يؤدي أيضًا إلى بذر التنوع الوراثي. إذا اتفق أن أثرت طفرة في جين أساسي يتحكم في النمو الأساسي للحيوان فإن ما ينتج من تغيرات جمالية أو تغيرات في السلوك قد يكون بالغ العمق إلى درجة أن المستفيد من الطفرة يبدو شكله أو سلوكه وكأنه نوع جديد بالكامل، وإذا حدث لهذا الكائن الحي الذي أعيد تنظيم عوامل السيادة فيه هو وذريته أن أصبحوا كلهم بطريقة ما معزولين عن أندادهم الذين

لم يتعرضوا للطفرة — نتيجة مثلًا لارتفاع في مستوى سطح البحر يحول شبه جزيرة إلى جزيرة — فإن المجموعة الشاذة قد تتطور حقًّا إلى نوع مميز لا يعود بعد إلى التزاوج مع زملائه السابقين، مثال ذلك أن العلماء في جامعة ستانفورد قد تتبعوا حديثًا مسار تطور عائلة سمكة أبو شوكة[١٨] ووجدوا أنه يرجع إلى حفنة من تغيرات وراثية بسيطة نسبيًّا، هناك ما يقرب من خمسين نوعًا من سمك أبو شوكة في كل أنحاء نصف الكرة الشمالي، يعيش بعض هذه الأنواع في المحيطات وله حماية ضد مفترسيه بدرع لكل جسمه يتكون من خمس وثلاثين صفحة عظمية، هناك أنواع أخرى تسبح في بحيرات وأنهار المياه العذبة، وقد تحررت من هذا الدرع الزردي المرهق لأبناء عمومتها، وهكذا فإنها تستطيع أن تنطلق فيما حولها سريعًا كالسهم وتنافس على الحصول على غذائها. حدد الباحثون أن هناك طفرات قليلة في جين واحد تكمن في الأساس من هذا الاختلاف الدرامي في تشريح سمك أبو شوكة، تختص السمكة البحرية بنمو صفائحها لأقصى حد، ويؤدي هذا إلى أن تصبح تقريبًا مقموعة بين سكان البحيرة، والسهولة التي يمكن بها التوصل إلى تغيرات عامة رئيسية في شكل هذه السمكة تساعد في تفسير السبب في أن هذه العائلة تمكنت من تنويع مراتبها بسرعة كبيرة هكذا: السمك أبو شوكة ساكن الماء العذب قد تفرع مبتعدًا عن نظائره المحيطية منذ ١٠٠٠٠ سنة أو ما يقرب، عند نهاية آخر عصر جليدي، وقد زاد تنواع هذه الأسماك وعملت على أن تتخصص بنفسها حسب ما يكونه أي كيان مائي تستعمره. تتوافر أدلة التطور في الداخل منا، ومن أسفلنا، ومن أعلانا ومن حولنا. يشكو أعداء التطور من وجود ثغرات في سجل الحفريات، وهناك ولا شك فجوات، ولكنها بسبب ما يوجد من صدوع، جرى تحديد هوية وتسمية عدة مئات من الآلاف من عينات الحفريات، إلا أن الباحثين يظنون أن العظام المعروفة تمثل واحدًا من الألف في المائة فقط من كل الأنواع التي عاشت، يقول دوكنز: «توجد بالطبع فجوات كثيرة في

[١٨] سمكة أبو شوكة: نوع من سمك نهري أو بحري له نتوءات دقيقة تنتصب على ظهره. (المترجم)

سجل الحفريات، ليس في هذا أي خطأ، ولماذا ينبغي ألا توجد فجوات؟ إننا محظوظون لمجرد وجود حفريات على أية حال.» دعنا نتذكر كل تلك العقبات التي لا بد للجثة أن تتغلب عليها في سبيل أن يخلد وجودها: لا بد أولًا أن تتجنب المصير الذي يترقب معظم الكائنات التي بعد. موتها تلتقط آكلات الرمم أجزاءَها وتبعثرها، وتتجنب كذلك التحلل بالديدان والفطر والميكروبات، والتقشر والعطب بفعل العناصر، أيًّا من هذا الذي ذكرناه أو كله معًا، وأفضل وسيلة دفاع ضد برنامج الطبيعة المتعدد الجوانب لإعادة التدوير هي الدفن السريع، الذي يتطلب عمومًا الموت في مكان ما حيث يرجح أن تنجرف طبقة سميكة من الترسبات فوق الجثة تغطيها سريعًا بعد الترسب، كأن يكون ذلك مثلًا: داخل البحيرات والأنهار والمستنقعات والبرك أو حولها، أو فوق قاع المحيط بالقرب من الساحل بأرضه الرملية الغرينية التي يعلوها الماء، تساعد الطبقة المترسبة على منع التحلل، على الأقل فيما يتعلق بالأنسجة الأكثر صلابة في الكائن؛ كالعظام، والأسنان، والمحار، والأنياب، والجذوع الخشبية. بمرور الوقت تتحول ترسبات الرمل والغرين إلى حجر، وربما كذلك أيضًا العظام وبعض البقايا الحيوية الأخرى داخلنا، وذلك إذ يحدث لجزء صغير بعد الآخر أن تحل فيه جسيمات معدنية مكان الجزيئات العضوية الأصلية وتحافظ على سلامة تكامل موضعها.

ومع ذلك فإنه حتى وقتذاك لا تكون الحفرية آمنة؛ ذلك أن مقبرتها الرسوبية قد ينتهي بها الأمر إلى أن تُدفن تحت طبقات كثيرة متعاقبة من صخور تلك الأرضية وتتفكك الحفريات على نحو لا يمكن معه التعرف عليها، أو تتمزق بددًا بالتنقل والحك المستمر لألواح القشرة، أو تتفجر إلى رماد في ثورة بركان. وأخيرًا هناك تلك المشكلة الصعبة، مشكلة اكتشاف الحفرية، فبعد أن تقضي الحفرية زمنًا من عشرات الآلاف من السنين حتى ملايينها وهي تتحجر بجلد تحت الأرض، لا بد لها من أن تناضل لتشق طريقها إلى السطح ثانية إذا كان لسجلها أن يُقرأ، لا بد لها من أن تجد السبيل إلى الركوب فوق حرف لوح يرتفع، أو أن تبرز فوق الجانب المكشوف لتل أو جبل، أو أنها لا بد أن تكون فوق هضبة رسوبية تُنحت بجهد شاق بالرياح

أو المياه، لتكشف عن شطيرة من عدة طبقات وكأنها محشوة بلحم من صخر، أي كوليمة حفرية. يقوم علماء الباليونتولوجيا بمعظم صيدهم فوق جوانب التلال، وفي أخاديد الوديان العميقة حيث تؤدي تواطؤات عارضة بين الجيولوجيا والأحوال الجوية إلى العمل في خدمة ترسيبات قديمة، لمحات من الماضي البعيد تكون في معظم الأرض مدفونة بعيدًا أسفل التربة.

يختلف من مكان لآخر مدى السهولة التي يستطيع بها الباليونتولوجيون تحديد عمر ما يبرز من الصخور والحفريات المدفونة، إلا أنهم يستطيعون دائمًا أو في الغالب إنجاز ذلك، ويتمكن العلماء من أن يحددوا بدقة تاريخ الحفريات عندما تكون أقل عمرًا من ٥٥٠٠٠ سنة أو ما يقرب من ذلك، وذلك بأن يقيسوا نسبة ما يوجد من نوعين من الكربون: كربون ١٤، وكربون ١٢، اللذين ما زالا يتلكآن داخل بقايا الكائن؛ فكلما كان الكربون ١٤ أقل نسبيًّا من الكربون ١٢ كانت الحفرية أكبر سنًّا، أما عند تقدير عمر الحفريات الأكبر سنًّا من ذلك، فلا بد للعلماء من النظر إلى الحجر الذي يؤوي العظام. الصخور أثناء تشكيلها كثيرًا ما تتشرب بحشد مما يسمى بالنظائر المشعة، نسخ غير مستقرة من العناصر الذرية مثل اليورانيوم ٢٣٨، والبوتاسيوم ٤٠، والروبيديوم ٨٧ يحاول كل منها أن يصل إلى تهدئة نفسه بأن يلفظ دوريًّا ومنهجيًّا فائض الجسيمات من قلبه المثقل. وصل العلماء إلى تحديد معدلات اضمحلال هذه الذرات المشعة حتى تستقر — وهو معدل يعرف بعمر النصف للعنصر — ولهذا فإنهم يستطيعون استخدام تغيرات مادة الاقتفاء المشعة كساعات جيولوجية. يستخدم الباحثون عدادات جيجر وعن طريق طقطقتها يفحصون كنوزهم التي خرجت من قبورها للنور لمقارنة ما فيها من نسب بين النظائر التي لا تزال تشع متطايرة وتلك التي استقرت، ويمكنهم بهذا أن يدركوا إلى حد معقول طول الزمن الذي ظلت فيه الصخرة وحفرياتها المدفونة وهي تعطب تحت الأرض، ويصلون بذلك إلى أطر زمنية تعود إلى مئات الملايين من السنين.

نعم إنه لمن الصعب التحول إلى حفرية، ومن الأصعب أن يُعْثر عليها ومعها شهادة ميلاد نظائرية يمكن الاعتماد عليها، ولا ريب أنه توجد بالطبع

فجوات شاغرة في سجل يعتمد اعتمادًا كبيرًا على تحدي الطبيعة التي لا تكل بما لها من مهابة وتركيب، وعلى الحظ الأعمى لكشف ارتفاع أجزاء من الأرض بعد مليون سنة، ألن تحس عندها بالحذر لو كانت تلك الفجوات «قليلة» للغاية؟

وإضافة إلى ذلك، فإن هذه الثغرات هي مما نصل دائمًا إلى أن نتمكن من سدها ولو جزئيًّا على الأقل، سنة ٢٠٠١ حفر الباحثون في التلال المنخفضة بشمال باكستان في موقع كان ذات مرة مغمورًا تحت المياه الدافئة الضحلة لبحر تيثز Tethys، واكتشفوا خبيئتين ممتازتين لحفريات حيتان تفيد في متابعة الرحلة الجريئة للثدييات للعودة من اليابسة الراسخة إلى المياه البدائية، تبدو الحيتان بتصميمها الانسيابي وولائها للماء مشابهة تمامًا للأسماك حتى إن هرمان ملفيل[١٩] حكم عليها بأنها فعلًا من الأسماك، إلا أن هذه الحيتان تتنفس الهواء، ويتغذى وليدها من الثدي، ولها بصيلات شعر مثل أي حيوان ثديي آخر، وهكذا افترض البيولوجيون لزمن طويل أن الحيتان سلالة لثدييات أرضية عادت إلى المحيطات منذ ما يقرب من ٥٠ مليون سنة، إلا أن مسار حفريات الحوت متقطع للغاية حتى إن كل ما استطاع البيولوجيون أن يتوصلوا له هو أن يخمنوا فقط الشكل المحتمل الذي كان يبدو عليه الحوت البحري من قبل. والآن فإن لديهم أدلة تفرض نفسها بقوة تدل على أن سلف الحوت موبي ديك في رواية ملفيل كان يبدو كذئب ويجري كذئب، ولكنه يأكل كخنزير، ذلك أنه كان على صلة قرابة حميمة بالثدييات القديمة مزدوجة الأصابع artiodactyls، وهي مجموعة من ذوات الحوافر تتضمن حاليًّا: الخنازير، والجمال، والبقر، وفرس النهر. يبين هذا الكنز الجديد من الحفريات أنه حتى قبل المغامرة بالنزول إلى الماء، كان لدى الحوت البدائي عظام أذن متخصصة لا توجد الآن إلا في الحيتان والدرافيل، الأمر الذي يدل على أن المهارات السمعية المثيرة عند الحيتان، وقدرتها على سماع أصوات الصفير الحاد على بعد نصف المحيط،

[١٩] هرمان ملفيل (١٨١٩–١٨٩١م) روائي أمريكي صور حياة البحار، وله رواية مشهورة عن صيد حوت عنيد اسمه موبي ديك. (المترجم)

ربما تكون قد تطورت لمتابعة آثار الأصوات على الأرض، وبدلًا من ذلك فإن ما يثير انتباهها الآن هو أناشيد من صفير ساحرات البحارة فتتبعها في البحار.

وبالإضافة إلى ذلك هناك جزء من سلسلة جميلة من الحفريات تظهر كيف يتقدم أحد الأنواع في مسيرته إلى النوع التالي له بطريقة مقنعة، وأحد أشهر الأمثلة التي تجسد ذلك في سجل الحفريات هي حفريات الحصان، فحسب التتابع الذي استُخرج من الحفريات إلى الآن فإن أول جنس شبيه بالحصان هو إيوهيبوس Eohippus أو هيراكوثيريوم Hyracotherium، وهو كائن رشيق بأربعة أصابع للقدم، وفي حجم كلب الصيد اللابرادوري، ويتغذى على البراعم والأغصان اليانعة وثمار العليق والأوراق في مناطق الغابات الأيوسينية[٢٠] بشمال أمريكا منذ ٥٣ مليون سنة، نشأ عن الإيوهيبوس خطوط نسل عديدة، خيول تختلف في الحجم، وعدد أصابع الأقدام، وارتفاع الأسنان وتختلف ولا ريب في ألوانها، وإن كان الفراء لا يتحجر جيدًا، ومن ثَمّ فربما لن نعرف أبدًا ألوانها بدقة. بعض هذه الأنواع كانت تتلاءم مع الحياة في أعماق الغابة، وبعضها تتلاءم مع الحياة في الأراضي العشبية المفتوحة. أحد الأنواع التي تخصصت بنجاح في الحياة بالسافانا نوع اسمه هيباريون Hipparion، وقد هاجر عبر جسر بيرنج[٢١] الأرضي إلى العالم القديم منذ ما يقرب من ١٠ ملايين سنة، وسرعان ما انتشر عبر جنوب أوراسيا وأفريقيا. إذا عدنا إلى أمريكا الشمالية نجد أن كل سلالة الإيوهيبوس بادت تدريجيًّا، ومع بداية عصر البليوسين[٢٢] منذ ٥ ملايين سنة لم يعد باقيًا إلا الحصان المسمى دينوهيبوس Dinohippus، وهو حصان ضخم قوي، طويل السيقان وبأصبع قدم واحدة، وحوافر بلا وسادة، مثالية للعدو عبر السهول المفتوحة التي انتشرت عندما أصبح المناخ أبرد وأكثر جفافًا،

[٢٠] الإيوسين: ثاني حقب الحياة الحديثة (السينوزوي)، وقد عاشت أثناءه أسلاف معظم أحياء اليوم، وانتهى منذ حوالي ٤٠ مليون سنة. (المترجم)

[٢١] جسر بيرنج: جسر من الأرض كان يصل بين أمريكا الشمالية وأوراسيا في مكان مضيق بيرنج الحالي. (المترجم)

[٢٢] عصر البليوسين: خامس عصور الحياة الحديثة، كثرت فيه نسبة الأحياء الحديثة وبدأ فيه ظهور الإنسان، وانتهى منذ ما يقرب من مليوني سنة. (المترجم)

وهذا الحصان لديه أيضًا أسنان كبيرة لها ميناء سميك صممت ليطحن بها الحيوان طيلة حياته كلأ الشجيرات الخفيضة الصلبة، وما هو أصلب من السليكات الرملية التي يتحتم أن تكون مع هذا الكلأ. أنجب الدينوهيبوس نسخة لنفسه أكثر رشاقة منه إلى حد هين، وهي حصان إيكوس، الجنس الحديث للحصان، وعند نقطة معينة تقاطعت الطرق بين الإيكوس وحصان الهيباريون صاحب الأسنان والسيقان الأقوى نسبيًّا، وأيًّا كان السبب — كأن يكون مثلًا المزيد من الخصوبة، أو حدوة الحصان المحظوظة — فقد تمكن الإيكوس من أن يحل محله. كل سلالات الحصان حاليًّا هي أعضاء في نادي الخيل نفسه سواء في ذلك الحصان الرمادي الذي يجر عربات متنزه سنترال بارك بنيويورك أو المهر الأصيل بعظامه الصغيرة، ويتصل بهذا النادي أيضًا الأنواع الموجودة حاليًّا من حمار الزبرا والحمار الوحشي، وميراثها التطوري يوجد في حجر الحفريات.

هناك مجموعة أخرى لها سجل حفريات ثرٍ بما يذهل وهي ... مجموعتنا نحن. عندما تريد تضمين قوة خارقة في قصة تطور الإنسان، فلعلك تنظر في إدخال هذه القوة هنا، باعتبارها العقل الموجِّه وراء أحداث المصادفات التي أنتجت ثروة من بقايا الكائنات قبل البشرية في أوضاع تكون عادة أوضاعًا معادية لتكوين الحفريات. هناك فكر فائق حصيف يود فحسب أن يضمن لمن يكونوا في موقف التأمل في جذورهم أن يتمكنوا من إلقاء نظرة على شجرة عائلتهم. لدينا حفريات للسلف من الرئيسيات منذ ٨٠ مليون سنة، ثدييات تشبه الزبّابة أخذت تقضي وقتًا أقل فوق الأرض ووقتًا أكثر بين الأدغال والأشجار، حيث تطورت إلى حجم أكبر، وإلى أن يكون لها عيون بالمواجهة تتجه إلى الأمام وتتلاءم جيدًا مع البحث النشيط عن الحشرات، وطورت أيضًا أصابع بارعة لالتقاط ما تجده من الحشرات من على أوراق الشجر. لدينا حفريات من خمسين مليون سنة عندما بدأ سكان الشجر القدماء في التنوع لينشأ عنهم أول المبكرين من القرود والقردة العليا، وقد تشكلت هذه الحفريات في غابات أفريقيا شبه الاستوائية حيث توجد الرطوبة وتوجد جيوش كائنات دقيقة تغطي أرضية الغابة، لتهاجم كل الفئات البيولوجية

قبل أن تجد فرصة للتسجيل في أرشيف الرسوبيات. لدينا تذكارات من سلف للقردة العليا مثل دندروبيثيكوس Dendropithecus وبروكونسول Proconsul، وكينيا بيثيكوس Kenyapithecus. «يبدو بالفعل أن هناك أسلافًا محتملة أكثر عددًا مما نحتاج له منذ زمن قبل ١٢ مليون سنة»، هكذا كتب بول إيرليخ عالم البيولوجيا في ستانفورد في كتابه «طبائع البشر»، ويضيف قائلًا إن لدينا «ثراء مربكًا من الحفريات.»

وكذلك فإن لدينا أيضًا سلسلة قوية من حفريات لما كان يسمى بأنه «حلقات مفقودة»، وبها مزيج منوع من الصفات التي يمكن أن نصفها إما بأنها «شبه بشرية» أو بأنها «شبه قردة عليا»، هناك حفرية «لوسي» المحبوبة، الأنثى الصغيرة التي تنتمي للأسترالوبيثيكوس Australopithicus، وقد سميت على أغنية لفريق الخنافس الغنائي وعنوانها «لوسي في السماء مع الماس» وكانت تعزف في الخيمة يوم أن اكتشف دونالد جونسون حفرية لوسي، ومن الواضح أن لوسي كانت تقف منتصبة ولكن حجم جمجمتها ربع حجم جمجمتنا فقط، ثم هناك هذا النوع المبكر من الإنسانيات أو الهومينيد[٢٣] Hominids مثل الهوموهابيليس Homo habilis الذي له ما يقرب من نصف مخ، ويفترض أنه أول من استخدم الأدوات الحجرية، ومثل الهومو إرجاستر Homo ergaster بأسنانه التي تماثل أسنان الحصان، والهومو رودولفنسيس Homo rudolfensis بفكيه الطويلين الهزيلين كالمشكاة، والهومو إريكتوس وقد انحدرت جمجمته وراء وكأنه يرتدي غطاء الرأس للحمام، والهوموسابينز القديم، ثم الهوموسابينز الحديث في عهده المبكر، وبعده الهوموسابينز الكامل الحداثة، هو ورجل الكهف المثال هومو نياندرثالينسيس الذي يسميه بعض الباحثين بالنياندرثال Neanderthal ويفضل آخرون إسقاط حرف h، ولكن هناك اتجاه لاتفاق كلي خبيث يعتبر كلمة نياندرتال وكأنها اختصار يصف إنسانًا «غاية في البدائية وعدم اتباع القواعد الصحية، وعرضة للاشمئزاز». تعايش النياندرتاليون

[٢٣]الهومينيد أو الإنسانيات حيوانات من عائلة هومينيدى التي تشمل الإنسان وأسلافه البائدة ذات الساقين. (المترجم)

مع الهوموسابينز في أوروبا كلها لمدة لا تقل عن ١٠٠٠٠٠ سنة ما لبثوا بعدها أن ماتوا ليختفوا فجأة بل ربما بكارثة، منذ ما يقرب من ٢٨٠٠٠ سنة، وظلت أسباب انتهاء وجود النياندرتاليين غير واضحة، كانت أحجام أمخاخهم عمومًا مثل نظرائهم من الهوموسابينز، وإن كان شكل جماجمهم يختلف عنهم اختلافًا هينًا، فهي أكثر تسطحًا مع تقارب في نتوء الحواجب بما يدل على أن الفص الأمامي لمخهم كان أصغر نسبيًّا، وهذا هو جزء المخ الذي نعتز بقدره باعتباره مكمن الذكاء. صاغ النياندرتاليون أدوات حجرية ممتازة لها أحرف حادة رهيفة مثلهم في ذلك مثل الهوموسابينز، إلا أنه بدا أنهم أقل اهتمامًا بالفن والزينة، وبالرسم على جدران الكهوف أو نحت قطع من العاج في تماثيل إناث صغيرة بمقاييس خرقاء للجسم، توجد أدلة من هياكلهم العظمية توحي بأن النياندرتاليين كانوا معرضين للإصابة بالجروح، والتهاب المفاصل وغير ذلك من الحالات الموهنة، وكان تعرضهم لها بدرجة أكبر كثيرًا مما يحدث للهوماسابينز، أو لعل أسلافنا لم يستطيعوا تحمل رؤية هذه المخلوقات المنخفضة الحواجب فأبادوها. تطرح الدراسات الوراثية طرحًا قويًّا أنه لم يكن هناك بالمرة أي علاقة عاطفية بين هذين النوعين من الهومينيد، ولا يوجد أي دليل على أننا نحمل أي آثار من جينات النياندرتاليين، أيًّا كان السبب، فإنه باختفاء النياندرتاليين من المشهد لم يبق إلا عضو واحد من جنس الهومو، هو جنسنا نحن الذين نخص أنفسنا بالقيادة، نحن الذين نطلق الأسماء على المسميات، مع ما لنا من جباه تعلو بفخر، وما لنا من أمخاخ تزن ثلاثة أرطال. هذا هو الهومو سابينز سابينز، (الإنسان العاقل العاقل)، لقد بلغت بنا حكمتنا أن نقول سابينز (العاقل) مرتين. كيف ينظر السابينز الرهيف الحس إلى صف من جماجم الهومينيد وما قبل الهومينيد في متحف للتاريخ الطبيعي، ثم لا يتأثر إعجابًا بالصفات التي تربطنا معًا وتلك التي تفصلنا بعضنا عن بعض؟ النسل ينحدر من سلف مشترك، والتعديل ينفذه الانتخاب الطبيعي.

السجل الحفري — وإن كان في بعض المواقع يبدو كمجرد رسم تخطيطي (إسكتش) — متسق في تعاقبه بلا أخطاء، أيًّا كان المكان الذي

نحفر فيه في العالم. هناك السجل الجزيئي أيضًا، الذي يكشف عن علاقة القرابة بين كل الكائنات الحية، ويتطابق أيضًا، كما يمكن التنبؤ به، مع أنماط التفرع التطوري للقبائل الرئيسية للكائنات الحية. جيناتنا نحن البشر تشبه جينات الفأر بدرجة أكبر كثيرًا مما تشبه جينات الذبابة، وهي أيضًا تظل أكثر شبهًا بجينات الشمبانزي أقرب أقربائنا الأحياء. إذا أخذت أحد خيطي اللولب المزدوج من خلية بشرية ووضعته في صف إزاء أحد الخيطين اللولبيين لخلية الشمبانزي، فسوف يلتصق الخيطان معًا — سيجد كل منهما الجزء الكيميائي المناظر أو المتمم له — بطول الخيطين، فيما عدا ٢ إلى ٤ في المائة من كل مدى الخيطين. هناك ثلاثة بلايين — أو ما يقرب — من الحروف الكيميائية تصنع حمضنا النووي البشري وهي تتطابق بنسبة ٩٦ في المائة مع حروف الشمبانزي. إذا نظرنا إلى الأمر بطريقة أخرى، فسنجد أن هناك ما يقرب من ١٢٠ مليون قاعدة جينية صغيرة، فيها ما يكفي بالضبط لملء واحد فقط من الثلاثة والعشرين كروموسومًا التي نراها في شكل السجق (النقانق) عند فحص دنا الجنين البشري عن طريق بزل السائل الأميني، وهذا الكم الصغير من القواعد هو كل ما يفرق بين فئة البشر الزائرين وفئة السكان المقيمين في حديقة حيوان سان دييجو، هذا هو ما نتوقع وجوده لنوعين يتشاركان في سلف مشترك منذ فترة من ٥ ملايين سنة لا غير. هذه فترة من ٢٥٠٠٠٠ جيل للوراء، رُبع مليون من الأجداد الأكابر، هذا سلف يبدو بالغ البعد وإن كان بالغ القرب، وأنا لا أملك إلا أن أناديه بأنه جدي الكبير سيلاس.[٢٤]

هناك كتلة كبيرة من أدلة أخرى لنظرية التطور يمكن أن نراها في مجال الجغرافيا البيولوجية، وهي التوزيع المتمايز للأنواع حول العالم، على الأقل بعد أن أخذنا نحن البشر في إعادة توزيع الأنواع طوعًا أو كرهًا ونحن نجوب الأرض. تأثر داروين تأثرًا عميقًا بالتجمعات المكانية فيما سماه بالكائنات التي بينها «تحالف وثيق»، أنواع تتماثل في تخطيط جسدها

[٢٤] سيلاس: اسم لإحدى شخصيات الجد الكبير الأسود في الأدب الأمريكي. (المترجم)

وخصائصه. أمريكا اللاتينية مثلًا هي موطن عائلة رائعة من الطيور تحف بها مخاطر شديدة ووضعها غامض غموضًا لا يفسر، وهي عائلة تسمى الكراسيدية Cracids والكلمة الإنجليزية هكذا في قافية مع كلمة acids (الأحماض)، وتحوي هذه العائلة خمسين نوعًا من مخلوقات كبيرة لحيمة، معروفة بتنوع غطاء رأسها تنوعًا مفعمًا بالحيوية: هناك عرف طائر الجوان، عرف متشابك ومسرف في أناقته مثل ريش الرأس الذي يتزين به أفراد قبائل الموهوك الهندية الحمراء، وهناك أيضًا طائر القزاز وله عقدة وردية لامعة تبدو كالخوذة وتبرز بين عينيه كأنها قطعة لادن منفوخة، ثم البوق الأزرق للطائر الذي يسمى على نحو ملائم بأنه بوكسي يونيكورينس Pauxi unicornis حيث كلمة يونيكورنيس تعني وحيد القرن. هذه العائلة «الكراسيدية» يمكن العثور عليها فيما يمتد شمالًا حتى الحدود بين تكساس والمكسيك، ويمتد جنوبًا حتى مقاطعة بيونس أيريس — إلا أن الإسراف الجائر في صيدها واحتلال موطنها البيئي قد خفض أعداد هذه الطيور تخفيضًا عنيفًا — على أنها بسبب عدم قدرتها على الطيران ببراعة لم تستطع أن تعبر أي محيطات. لن تستطيع أن تكتشف وجود أي طائر جوان بعرفه المتشابك في غابة مطر في لاوس أو أن تجد طائر «ميتو ميتو ميتو»[٢٥] يأخذ حمام شمس في جزر سولومون، ولن نجد بطريقًا بريًا قد قتله دب قطبي وأمسك به ميتًا بين فكيه؛ فكل أنواع البطريق الثمانية عشر تعيش في نصف الكرة الجنوبي، حيث يعيش الكثير منها حول قارة أنتاركتيكا (القطب الجنوبي)، والدب القطبي، مثله مثل ابن عمه الحميم الدب الرمادي يقيم على وجه التحديد الصارم في الشمال. يرى البيولوجيون منذ عهد داروين وما بعده أن هناك توافقًا بين الجغرافيا والبيولوجيا، وتجمعًا لأنواع «التحالف الوثيق» فوق الكتل الأرضية نفسها، كما أن هناك أوجه تعارض بين سكان إحدى القارات والأخرى، وكل هذا التوافق والتعارض يمكن تتبع مساره وصولًا إلى تفسير وجيه واحد يفسر المحرك الذي يدفعه، وكما كتب داروين:

[٢٥] نوع من القزاز شبه المنقرض. (المترجم)

«نحن نرى في هذه الحقائق نوعًا من رابطة عضوية عميقة، تسود من خلال المكان والزمان، هذه الرابطة حسب نظريتي هي التوارث البسيط.» إنها الانحدار من سلف مشترك، مع التشارك في أرض مشتركة.

على أن هناك خطًّا آخر من الأدلة أحسن ما يستوعبه هو سطر من عبارة قصيرة بسيطة اخترعتها لتنشيط ذاكرتي، طريقتي المفضلة لتذكر المنظومة التصنيفية أو التاكسونومية التي نستخدمها لتصنيف الأنواع هي أن تذكرها بكلمات العبارة التالية: Kings pour coffee on fairy god-sisters فلدينا هكذا ما يذكر بالتصنيف بدءًا بالمملكة Kingdom مقابل King، ثم الشعبة phylum مقابل pour، تليها الطائفة class مقابل coffee، فالرتبة Order مقابل on، وبعدها العائلة family مقابل fairy، ثم الجنس genus مقابل god، فالنوع species مقابل sisters. لدينا هكذا تتابع متداخل للفئات، ابتداء من السلطة العليا المهيمنة حتى الأخت sister الصغيرة الخاصة، وكلمة الخاصة الإنجليزية specific كلمة تتلاءم هنا تمامًا حيث إنها الأصل الاشتقاقي لكلمة النوع الإنجليزية species. وكلما كان الموضع البيئي أضيق زاد تشارك أفراد المأوى الواحد في صفاتهم الوارثية، وكلما كانت الفئة أوسع أصبح العدد أكبر وزادت قوة تغاير خواص أعضائها. على أنه مهما بدا أي حشد متجمع وكأنه أصبح في حالة من هرج ومرج، فإن الكائنات التي تتجمع معًا في دفعة إنتاج واحدة سيتشارك أفرادها معًا أحدهم مع الآخر بدرجة أكبر مما يتشاركون به مع أي تجمع آخر في منزلة مشابهة. دعنا نلق نظرة سريعة على أنفسنا؛ نحن نوع «السابينز» النوع الوحيد الذي بقي حيًّا في جنسنا «الهومو»، وإن كان سجل الحفريات يظهر أنه كان هناك أنواع هومو أخرى سابقة لنا مثل النياندرتال والإيريكتوس، عائلتنا هي عائلة الهومينيدي Hominidae، ونحن نتشارك فيها مع أربعة أنواع حية من القردة العليا العظمى — الشمبانزي، والبونوبو، والغوريللا، والأورانجوتان — كما نتشارك فيها أيضًا مع عشرات من أسلاف منقرضة لها صفات منوعة شبيهة بصفات القردة العليا أو شبيهة بصفات الإنسان، ونرتبط نحن القردة العليا الهومينيدية مع ما يقرب من مائتي نوع من

القرود والليمور والترسير واللورس[٢٦] وما أشبه في رتبة الرئيسيات، ونرتبط أيضًا مع ٤٦٠٠ أو ما يقرب من الأنواع الأخرى في طائفة الثدييات، وهي جماعة نتوحد معها بشعرنا، والقلب المقسم إلى أربعة أجزاء، والأذنين، وأثداء الأمهات، بل هناك حتى أعضاء خوارج من الثدييات تضع بيضًا مثل البلاتبوس بمنقاره البطّي، وقنفذ النمل الذي يقتات على النمل، وكلاهما يقطر لبنًا من غدده الثديية وتلعقه أفراخه بعد الفقس. نحن ننتمي إلى شعبة الحبليات Chordata وإلى الشعبة الفرعية الفقاريات Vertebrata في احتفاء بعمودنا الفقري، ويجمعنا هذا مع ما يزيد عن ٥٠٠٠٠ حيوان فقاري آخر، مثل الزحافات والطيور والسمك والبرمائيات. مملكتنا هي مملكة الحيوان animalia وها هنا ندخل مع الحشود الهائلة من المفصليات وغيرها من الحيوانات اللافقرية: الحشرات، والعناكب، والعقارب، والديدان الألفية والقشريات، وجراد البحر، والسرطانات، والمحار، والأخطبوط، وبطنيات الأقدام التي تصنع الصبغة، والديدان والإسفنج، والمرجانيات، وريش البحر، وخيار البحر، وملايين كثيرة من أعضاء مملكة الحيوان بأفواه واسعة مفتوحة أو بمسام فموية، تتحدد حسب حاجتنا لأن نتغذى على كائن ما بطريقة ما. وليس الأمر هكذا لمملكة النبات، تلك الكائنات التي يوجد منها ٢٦٠٠٠٠ نوع، تلك الكائنات العنيدة الثابتة في مكانها، وكما كان القزم «رمبلستلتسكين»[٢٧] يغزل من أي شيء نسيجًا ذهبيًّا فإن هذه النباتات تغزل الشمس في ذهب، أجل فحتى نبات فينوس صائد الذباب الذي ينبغي ألا تقربه أي حشرة، حتى هذا الصائد يمكنه أن يستجمع ما لديه من كلورفيل ويعيش بأكل ضوء الشمس.

لكننا لو واصلنا ارتقاء شجرة الحياة في إضافة حديثة نوعًا لخطة التصنيف لا يزال علينا أن ندمجها في عبارة للتذكير، فسوف نصل إلى أن ننضم مع الأشجار والنباتات الأخرى، وكذلك مع الطحالب والخميرة. توجد «إمبراطوريتان» فوق الممالك، إمبراطورية ذوات النواة الحقيقية وإمبراطورية

[٢٦] الليمور والترسير واللورس أنواع مختلفة من القردة. (المترجم)
[٢٧] رمبلستلتسكين: قزم في حكاية شعبية ألمانية يغزل الذهب من التبن. (المترجم)

ذوات النواة الكاذبة؛ نحن أصحاب النواة الحقيقية جُهزت خلايانا بنواة يتخذها اللولب المزدوج للحمض النووي مَهْدًا له، أما ذوات النواة الكاذبة كالبكتريا فإن حمضها يطفو غير مقيد في بطن الخلية اللزج، ولا يلبث أن ينقسم إذا أمهلته لعشرين دقيقة لا غير، ثم إذا صعدت إلى أعلى لتلقي نظرة على الشفرة التي تتواصل بها الحياة فستجد أن ذوات النواة الحقيقية والكاذبة تتوحدان؛ ذلك أنه في الداخل من كل خلية، وفي الداخل من كل فيروس يتطفل على الخلية، توجد نفس حروف الألفباء الكيميائية، نفس حروف الحمض النووي التي تروي القصة الملحمية الوحيدة ببليون طريقة مختلفة، هكذا لدينا فوق الإمبراطوريات والممالك ساحة «جايا» للجينات.

وكما لاحظ دافيد كوامن الكاتب وعالم التاريخ الطبيعي، فإن هذا النظام التصنيفي المتشعب، هذا التداخل لفئة داخل الأخرى، وهذا النمط من تشابه الطبقات الذي يجلب في ثناياه أنواعًا تتزايد أبدًا لينتهي عند القمة بصفة وراثية سلفية فائقة ووحيدة — الكيمياء المشتركة لجيناتنا — هذا النظام ليس بطريقتنا المعتادة التي نرتب بها مجموعات من بنود معينة. أنا، على سبيل المثال، لدى مجموعة كبيرة من مؤشرات الكتب التي توضع بين الصفحات من جميع أنحاء العالم، ويرجع تاريخها إلى أوائل القرن التاسع عشر. وقد رتبتُ المؤشرات القديمة حسب موضوعها — مؤشرات كتب تعلن عن أجهزة بيانو، أو عن صابون، أو حلوى الشوكلاته، أو إطارات السيارة، أو الدب سموكي، أو صندوق الأرامل الاسكتلنديات — ولكن لا توجد طريقة منهجية للربط بين مؤشرات الكتب التي تعلن عن إطارات السيارات والأخرى التي تعلن عن العطور وتلك الخاصة بالمعرض العالمي التذكاري في عام ١٩٣٩ التي تحمل صور «السيد بينوت». ينطبق الشيء نفسه على ما عند ابنتي من مجموعة من الصناديق، وهي تحب أن ترتبها في أشكال ممتعة جماليًّا، ولكن ليس لهذا الترتيب هرمية شكلية واضحة، ما من سبب لأن نقول إن صندوقًا تزينه الحلي يشبه الصندوق الخشبي المطلي أكثر من الصندوق الخشبي المحفور. لماذا لا يمكن ترتيب نظام لمؤشرات الكتب والصناديق، أو للصخور، أو الأقراط ويكون مماثلًا لترتيب

عرائس «ماتريوشكا» الروسية التي تدخل كل واحدة منها داخل الأخرى الأكبر منها؟ السبب كما يكتب كوامن أن «أنواع الصخور وأنماط الحلي لا تعكس انحدار سلالة لا تنقطع من أسلاف مشتركة، أما التنوع البيولوجي فهو يفعل ذلك.» هكذا فإن عدد الصفات التي يتشارك فيها نوعان، أو درجة السهولة التي يمكن بها لخيوط حمضيهما النووين أن تتضفر معا ملتصقة بسعادة، يكون فيها غالبًا مقياسٌ لمدى قرب الزمن الذي تفرع فيه هذان النوعان من سلف مشترك.

ومع ذلك فليست كل حالة تماثل توجد في الطبيعة يكون فيها البرهان على خط قرابة دم وثيقة؛ أحيانًا تحمل بعض الكائنات في إحدى القارات شبهًا مذهلًا لنوع يقع بعيدًا في مكان عبر نصف الكرة الأرضية، وليس بين هذه الكائنات إلا صلة قرابة بعيدة جدًّا، وكمثل لذلك، فإن نباتات الصبّار في أمريكا يصعب تمامًا تمييزها عن مجموعة من النباتات العصارية في أفريقيا تسمى الفربيون euphorbia، يوجد في كلتا العائلتين بعض أنواع شكلها مثل كرات عجين ضغطت ضغطًا هينًا وأنواع أخرى تنمو طويلة عمودية مثل أعمدة الرموز المقدسة العالية، الفربيون والصبار يظهران تفضيلهما المتشابه للأشواك أو الإبر بدلًا من الأوراق، ولهما غلاف من غشاء سميك شمعي، وهما يختزنان الماء في قلوبهما المجوفة، ولو أنك اشتريت نبات فربيون وكنيته باسم الصبار «ساجوارو»،[٢٨] فإن عمتك في مدينة تكسون قد لا ترى أي سبب لأن نصحح لك ذلك، إلا أن الصبار والفربيون عائلتان قرابتهما بعيدة جدًّا بمثل ما يمكن أن تكون القرابة بين أي مجموعتين من النبات، وكل منهما له قرابة من أبناء عمومة زهرية ليس فيها أي إبر أو أشواك.

ينطبق الأمر نفسه على قنفذ النمل الذي يأكل النمل في أستراليا، وحيوان البنجول آكل النمل في أفريقيا، وآكل النمل العملاق في أمريكا اللاتينية، هذه الثدييات الثلاث تتشارك فيما هو أكثر من ولعها بالنمل والأرضة أو النمل

---

[٢٨] الساجوارو: صبار عملاق في الولايات المتحدة والمكسيك له جذع كالشجرة وزهور بيضاء وثمار حمراء تؤكل. (المترجم)

الأبيض؛ فلكل من هذه الحيوانات خطم لطيف بلا شعر، ولسان يشبه الدودة، وغدد لعابية بارزة، ومعدة في قوة خلاط أسمنت، ومجرد آثار لأسنان، ولها أيضًا مناجل صغيرة فوق أقدامها، ومع ذلك فإن آخر سلف مشترك لهذا الثلاثي ربما يعود لزمن حياة الديناصورات، ولنتذكر أن قنفذ النمل لا يزال يضع بيضًا وأن أقرب أقربائه البلاتبوس يبدو كعرائس الخيوط المتحركة.

من المهم أن يُذكر هنا أن الثلاثي آكل النمل، هو والنباتات العصارية في قارتي أمريكا وأفريقيا، وحشدًا آخر من الحالات التي يتوافق فيها التشريح ويتصادم التصنيف، كلها حالات تفيد في تأكيد سلطان الداروينية الجارف فحسب؛ فكلها تضرب الأمثلة لظاهرة التطور المتلاقي لخطوط سلالات متناثرة على نطاق واسع وتواجه مشاكل متماثلة، ويحدث بواسطة الانتخاب الطبيعي — بيده المرشدة وسوطه المفرقع — أن كلًّا منها قد استنبط على نحو مستقل نفس الحل الأساسي، ونفس المجموعة من الأدوات لأداء المهمة الثقيلة. نبات الفربيون في أفريقيا تحت الصحراء هو وصبار هضبة سونورا بأمريكا الشمالية كلاهما قد تطور في موطن بيئي يعد من بين أقصى ما يوصف فوق الأرض بالخشونة والجفاف وحرارة الشمس، وليس غير طرائق معدودة للنباتات لتتحمل الحياة في هذه الظروف «المتطرفة». يستطيع النبات أن يتخذ شكلًا مستديرًا يمنحه أقل مقدار من مساحة للسطح بالنسبة لحجمه، وبهذه الطريقة يتعرض أقل قدر من غطائه فقط للشمس القاسية والرياح الجافة، ولكن يغدو لديه خزان مركزي كبير نسبيًّا يختزن فيه أي قدر من الماء يسقط أثناء زخة مطر الصحراء التي لا تستمر طويلًا، أو أن النبات بدلًا من ذلك ينمو طويلًا وعموديًّا، بحيث إن سطحه لا يقبع مباشرة تحت شمس منتصف النهار الحارقة إلا في جزء قليل منه، ويمنحه ذلك مرة أخرى حيزًا داخليًّا لخزان شخصي، الأوراق تزيد من إجمالي مساحة السطح وتمتص الرطوبة من الداخل لتبخرها إلى الخارج، وهكذا فإن من الأفضل الاستغناء عنها بالكامل وأن يقوم الجذع بالتمثيل الضوئي. الجلد السميك الشمعي يمنع التبخر ويبعد القواطع الحادة لقوارض الصحراء العطشى،

والأشواك لا تقتصر فائدتها على الإضافة إلى الدفاع ضد سرقة الماء، وإنما هي تساعد أيضًا في توجيه قطرات الندى وماء المطر في قنوات تهبط إلى الجذور الضحلة للنبات، وإذا كان النبات يضع خطته حتى ينجح تحت النيران فالأفضل له أن يتخذ مخبأ متينًا والكثير من الأشواك الكبيرة لتقف في جانبه.

إحدى المهن الأخرى المفعمة بالمخاطر مهنة التغذية النهمة بالنمل، التهام النمل، ويكون الأمر أصعب إذا كنت تخطط لأن يكون النمل الأبيض جزءًا من الوجبة أيضًا. تعد حشرات النمل والأرضة من أنجح المفصليات، ووجودها يسود أي موطن بيئي تختار أن تستعمره بحيث إن الحشرات الأخرى كالخنافس أو الصراصير تكتفي بأن يخصص لها أن تحوم عند ضواحي هذا الموطن، ويقدر العالم إدوارد أ. ويلسون أن النمل وحده يشكل على الأقل نصف الكتلة الحيوية لعالم الحشرات. إن نجاح حشرات النمل والأرضة في مهاراتها الاجتماعية، وقدرتها على العمل معًا بلا انقطاع كأعضاء تتخصص تخصصًا راقيًا ولكن بدون نزعة فردية يرجع في معظمه إلى سلوكها الجماعي؛ فهي تسلك «ككائنات عليا» لا ترحم وكأنها نموذج للتهديد الأحمر الماكارثي[٢٩] أو شخصيات «بورج» التي ترتدي الملابس المطاطية في مسلسل رحلة النجوم «ستارتك». ما من مكان تبدو فيه النزعة القومية المقاتلة للحشرات بأوضح مما تبدو في التزام النمل والأرضة بأمن موطنها؛ فعندما تُهاجَم هذه الحشرات فإنها ترد الهجوم متكتلة معًا: فتلدغ، وتعض، وتطلق سيولًا من حمض النمليك تندفع إلى الأعين، والآذان وفتحات الأنوف والسراويل، وهكذا، في حين تبدو مستعمرة النمل أو رابية الأرضة بما تحويه من ملايين الأفراد هدفًا لا يكاد يقاوم لأي باحث عن الطعام، إلا أنها في الحقيقة تُظهر لكائنات كثيرة مقاومة فيها حنكة. إذا كان لديك خطط لأن تقتات بهذه الأنواع العنيدة من الطعام فلا يمكنك عندها أن تكون مجرد

[٢٩] نسبة للسناتور جوزيف مكارثي (١٩٠٨–١٩٥٧م) الذي بدأ عام ١٩٥٠ حملة ضد الشيوعية اتهم فيها عددًا كبيرًا من الشخصيات العامة بالشيوعية وعدم الولاء للولايات المتحدة وكانت اتهاماته في أغلبها بلا أساس، وأدان مجلس الشيوخ في ١٩٥٤م الحملة وأوقفها. (المترجم)

هاو أو أن تفعل ذلك لبعض الوقت دون تفرغ له، لن تفيد المطرقة هنا؛ فالأمر سيتطلب تروسًا متخصصة.

عندما قبلت حيوانات قنفذ النمل والبنجول وآكل النمل العملاق التحدي بأن تستغل هذا المصدر للتغذية بما فيه من تحصينات عنيفة فإنها قد التقت كلها لتتجمع معًا تطوريًّا فيما يتعلق باستخدام الأدوات نفسها للهجوم الآمن على فريستها: مخالب كبيرة في شكل المنجل للحفر في الأوكار، ولسان طويل من شريط لزج يقلّب عميقًا في نواتج الحفر ويلعق مئات الحشرات في كل جسة، وخطم يمتد طويلًا لإحكام تسديد اللسان، وخطم عار بلا غطاء حتى لا تجد حشرات النمل والأرضة أي شعر تتمسك به لتقوم بهجوم مضاد، وغدد لعابية متضخمة لتُبقي اللسان لزجًا ولتساعد في جرف النمل إلى أسفل، ومعدة قوية وكأنها مدرعة بالحديد لتتحمل كل الرمال التي تصاحب كل عينة نمل. الخيل لها أسنان كبيرة لتتحمل تلوث جذور العشب بالسيليكا، ولكن الحيوانات آكلة النمل لا تحتاج لمضغ فرائسها البالغة الصغر قبل بلعها، وهكذا فقد اختارت أن تتجنب أي قلق حول الأسنان أو امتنعت عن إنبات أسنان بالمرة. كِنت ريدفورد بيولوجي يعمل مع «جمعية الحفاظ على الحياة البرية» في برونكس، وهو يدرس الحيوانات الآكلة للنمل، يقر ريدفورد أن هناك «خطة بيولوجية عجيبة» ولكنها خطة متعددة المسالك، وهو يقول إنه عندما نرى خطوط سلالات عديدة تتطور مستقلة مورفولوجيًّا ومتشابهة، يكون علينا أن نستنتج أن التصميم المتكرر إنما هو الاختيار الواضح، الانتخاب الطبيعي الأكثر اتصافًا بأنه طبيعي.

هكذا يكون الالتقاء في التطور، وكذلك التمويه، كما في كارتون البطة دونالد والطوقان سكام. أينما فتشت في مقصورة غرائب شُعب الإمبراطورية فسترى كيف يمكن أن يظهر التطور الدارويني لاعشوائيًّا وهادفًا، وإذا كان الكثير مما في الطبيعة يبدو كأنه صُمِّم فإن سبب ذلك أنه مصمم بالفعل، وهو ليس مصممًا من الخارج إلى الداخل، وإنما كله من الداخل، وهو لا يزال منطلقًا، وذلك بواسطة الحياة التي تكافح لتحقيق نبوءتها

الذاتية، حتى تظل باقية بكل ثمن، وبأي مسار، وإن بدا مضحكًا، هنا فوق كوكب الأرض، وهي حية بذاتها بين الأحياء. يتذمر نقاد التطور قائلين إن التفسير الدارويني الخالص للحياة أو التفسير «الميكانيكي» للحياة يخصنا بحياة قد جُردت من المعنى، عالم تدفعه قوى عشوائية، أزمات قاهرة ملحة، حياة لا أخلاقية بلا هدف. جريج إيستربروك كاتب وُصف بأنه «مسيحي ليبرالي» وهو يفترض أن «المناقشة النهائية ستكون بين أفراد يؤمنون بشيء أكبر منهم هم أنفسهم»، أي بين أصحاب الإيمان الديني العميق، «وبين أفراد يؤمنون بأن الأمر كله حادث من مصادفة من الكيمياء»، إلا أن هذه الصيغة الثنائية مثيرة من غير داع، وفقيرة أكثر مما ينبغي، ما هو هذا «الأمر كله» الذي يفسَّر بأنه، «حادث من مصادفة من الكيمياء» أهو كل ذلك التنوع البيولوجي الذي يفيض به العالم؟ عندما نصور الحياة بأنها تجسد مصادفة، فإن في هذا تضليلًا كبيرًا، بصرف النظر عما تكونه نزعاتنا الروحية، فالحياة هي الانطلاق المضاد للصدفة والأكثر إسرافًا من حيث الديناميكا الحرارية، وهي أكبر انطلاق يُحَّرض عليه ثم يُضخم، والتعليق عليه بالحواشي، وشرحه مطول، وتنقيحه، وتجديده ... حسنًا، لعلك هكذا أدركت الفكرة. نحن لا نعرف كيف بدأت الحياة، إلا أنه حتى ما حدث من أول عملية نسخ لذلك الجزيء المجهول لم يكن حقًّا حادث صدفة، ربما كان هناك حسن حظ بأن تكون الظروف مناسبة لأن يحدث هذا النسخ، إلا أن نفس فعل نسخ النفس، كان حسب طريقته، تصرفًا متعمدًا. هناك إطناب متأصل في تعريف الحياة — بأنها ما يعيش ويسعى لاستمرار ذاته — وهذا بالفعل يزيل المصادفة من المعادلة، بل يصرّ حقًّا بعض الباحثين في أصل الحياة على أنه في ظروف معينة تكون الحياة في الواقع حتمية، هل هذه الظروف بالغة في الندرة بما يكفي لوصفها كصدف حقيقية من الكيمياء؟ أو أنها توجد بغزارة في الكون كله، بوصفها نتيجة تترتب على أن الهيدروجين والأوكسجين هما من العناصر الأكثر شيوعًا، ومن ثم فإن الماء، وهو ينبوع الحياة الذي يتكون منهما، يكون أحد الجزيئات الأكثر شيوعًا؟ لسنا نعرف بعد، ولكني أستطيع القول إن الأغلبية العظمى من

علماء الفيزياء الفلكية مقتنعون بأننا نحن أهل هذه الأرض أبعد من أن نكون وحدنا، وهذا موضوع سأعود إليه في الفصل الأخير من هذا الكتاب.

مهما كانت بدايات الحياة عارضة أو محتومة، فإن ازدهارها إلى «كل» ما نراه حولنا لم يكن أبدًا صدفة أو عشوائيًّا. يقول ريتشارد دوكنز: «يوجد الانتخاب الطبيعي من حولنا كقوة لا عشوائية بكل ما يمكنك أن تتصوره»، ولا يعني هذا أن الانتخاب الطبيعي له أهداف خاصة في عقله، أو أنه يمضي إلى الأمام في خطى مثيرة للإعجاب ليشرف في تقدم متزايد على كائنات أكثر تعقيدًا وذكاء، في جهد نكون نحن بالطبع ثمرته الرائعة المختارة، الانتخاب الطبيعي يسعى فحسب لانتخاب تلك الحياة التي تعرف أحسن المعرفة كيف تحيا. في التزين جريمة أحيانًا، كما يقول أدولف لوس أحد أعمدة الحداثة، ومثال ذلك، إن الزقيات[٣٠] البحرية أو خيار البحر تكون وهي في طورها اليرقي حيوانات صيادة متحركة ومن ثم فإن لها مخًّا صغيرًا يساعدها في العثور على الفريسة، ولكنها لا تلبث أن تصل إلى مرحلة نضج نموها وتربط نفسها بصفة دائمة داخل موقع بيئي صغير آمن تستطيع منه أن تتغذى بعملية ترشيح لكل ما يمر بها في الماء، وعندها يطرح خيار البحر مخه الذي لم يعد يحتاجه بعد. ويكتب بيتر أتكنز أستاذ الكيمياء في جامعة أوكسفورد: «الأمخاخ مستهلك كبير للطاقة، وإنها لفكرة جيدة أن تتخلص من مخك عندما تكتشف أنك لم تعد بعد بحاجة إليه.»

التطور ليس بالمنظَّم وليس بالبعيد النظر، وليس مما يود المرء أن يجعله مسئولًا عن تخطيط الاجتماع السنوي لمجلس إدارة شركته، أو حتى المسئول عن تخطيط حفل عيد ميلاد ابنه في مطعم تشك إ. تشيز المشهور. التطور كما يحب علماء البيولوجيا توضيحه عامل سمكرة، وقد أُنشئ لغرض خاص، ويركّب معًا أشياء بسيطة ليحل مشكلة، وهو يعمل بما يكون في متناول يده وليس بما في ذهنه. بعض ابتكارات التطور يثبت أنها رائعة، ويمكنك أن ترى في البعض الآخر آثار الرتق واللصق، يقول

[٣٠] الزقيات: كائنات بحرية بدائية لها شكل أسطواني وغلاف كيسي. (المترجم)

بوب فول عالم المواد بجامعة كاليفورنيا في بيركلي: «كثيرًا ما يُفترض أن الكائنات الحية توجد في أمثل صورة، ولكنها ليست كذلك، الكائنات الحية تحمل معها أمتعة من تاريخها، والانتخاب الطبيعي مقيد بأن يعمل بالمواد الموجودة من قبل التي وُرثت من السلف. الدرافيل لا تعيد تطوير الخياشيم، ولم يعثر على أي تيتانيوم في صدفة السلحفاة، ولن يستطيع أحد قط أن يصمم خفاشًا ابتداء من الصفر.»

لماذا تعلق في كل مطعم صور «الإسعاف بطريقة هيمليش» للتخلص من الاختناق بالطعام، ولماذا يكون من السهل الاختناق بكعكة «المعقودة» المكورة؟ أمكن تطوير اللغة البشرية بإنزال حنجرتنا إلى مستوى بأسفل وضعها السابق في الرئيسيات، وبهذا انفتحت مساحة أكثر للهواء لتسهيل إنتاج الأصوات ببراعة، إضافة إلى ذلك فقد تغير وضع اللسان، وفي حين لسان الشمبانزي بأسره موجود داخل الفم، نجد أن الجزء الخلفي من اللسان البشري يشكل الطرف الأعلى من الجهاز الصوتي، بحيث يعطيه مرونة في تشكيل ونطق الأصوات. هذان التعديلان التوءمان أديا فيما يتفق إلى أن جعلا مساري الطعام والهواء قريبين معا قربًا أكثر كثيرًا مما في أسلافنا قبل البشرية، أو مما هي عليه عند أقربائنا من القردة العليا في الأوقات اللاحقة، الأمر الذي واكبه زيادة خطر وقوع حادث حرج فيه احتمال لأن يكون مميتًا عندما تسقط قضمة من المخللات داخل القصبة الهوائية بدلًا من البلعوم الذي تنتمي إليه، طفرات الحنجرة في حد ذاتها كان يمكن كنسها برشاقة وسرعة من المستودع الجيني ولكنها أبقيت لتستخدم في قدرة جديدة على الخطاب الفصيح، والتعليم، والتشويش، والإرهاب بالعبوس والصياح، وإيذاء الآخرين بالشائعات وغيرها، وإعاقة إصدار التشريعات، والجلجلة بأغانٍ مقفاة في الحمام تدور عن منتجات ليست حتى مما تحبه وأنت تغني بها، ثم ها أنت الآن تتحدث.

بالإضافة إلى ذلك، فليس كل ملمح في أحد المخلوقات بنتاج للانتخاب الطبيعي، بعض هذه الملامح بقايا أثرية لصفات لم تعد هناك بعد حاجة لها أو وظيفة لها، ولكنها لا تحدث أضرارًا ومن ثم فهي ليست تحت

تأثير ضغط انتخابي للتخلص منها مثل ما يحدث لمخ الزقيات، مثال ذلك أننا عندما نحس بالبرد أو بإنذار بالخطر، تظهر على جلدنا بروزات مثل جلد الأوز قد تبدو جذابة وهي فوق جلد الأطفال عند خروجهم من حمام السباحة، ولكنها لا تفيدهم الآن بأي فائدة مثل فائدتها عندما كان لا يزال عندهم فراء. يرجع هذا النوع من رد الفعل إلى ما كان عليه جلدنا فيما مضى حينما كان انتصاب شعر الجسد الكثيف عاليًا يساعد على احتباس الحرارة أثناء البرد أو يجعل المرء يبدو أضخم وهو يواجه عدوًّا. هناك صفات أخرى تظهر في أحد الجنسين ليس لأهداف نفعية مباشرة، ولكن لأنها حاسمة في الجنس الآخر، ويتفق أن خطة الجسد الأساسية لتنامي جنين الثدييات هي خطة للجنسين معًا، ويدل على ذلك ما نراه من حلمات مضغوطة عند ذكر الثدييات تخلو من اللبن، ولها عمومًا العدد نفسه عند الذكر كما يوجد عند نظيرته الأنثى التي تنتج اللبن بكفاءة؛ حلمتان اثنتان عند الرجل وعند ذكر الشمبانزي وذكر الخفاش، وهي عشر حلمات عند ذكر الكلب، وثمانٍ عند ذكر القط.

تظل هناك أيضًا القوة التطورية التي تسمى بالانتخاب الجنسي، وهي المحرك الأكثر قوة للخيلاء، وللإقامة المؤقتة في أماكن معينة، وللكوميديا وللصفات اللافتة للنظر التي ربما قد لا تفيد بشيء في إطالة عمر الفرد بل تساعد في بعض الحالات على قصره، وصف داروين نفسه الانتخاب الجنسي كقوة مثيرة للإعجاب ومكملة للانتخاب الطبيعي وطرح أدلة مسهبة عن كيف أن الحاجة إلى جذب رفيق ومقاومة المنافسين يمكن أن يكون لها تأثير جذري على مظهر الحيوان وسلوكه، بل هناك حتى صفات يبدو أنها تعوق قدرة أحد الأنواع عن أن يفر من مفترسيه أو عن أن يتوارى بأمان في الخلفية — ويعد هذا من الموروثات القياسية للانتخاب الطبيعي — إلا أن داروين يقول إن الصفات من هذا النوع المعوق تجد تفضيلًا تطوريًّا إذا كانت تدعم الجاذبية الجنسية لحامليها بحيث ينتهي بها الحال إلى أن تغمر المنافسة في المستودع الجيني. وعلى كل فإنك عندما تبقى حيًّا زمنًا كافيًا لأن تتناسل، وإذا أنجبت عددًا كبيرًا، حتى وإن كان بمجون، في فورة

واحدة من فورات الربيع المرحة، فمن ذا الذي يبالي بعدها إذا ما غدوت في الصيف التالي كطاووس خالٍ من الريش؟ سوف يؤدي أفراد سلالتك عنك في المستقبل أسلوب خيلائك، المثل التوضيحي الكلاسيكي للانتخاب الجنسي هو ذيل الطاووس؛ أنثى الطاووس تعوزها أناقة المظهر، وهي غالبًا تتخذ بعض اللون الطبيعي السائد في الطيور، إلا أن من الواضح أن لها شهوات متوهجة، ظلت إناث الطاووس خلال أجيال كثيرة وهي تفضل الذكور ذوي الريش الخلفي الفاخر اللافت للأنظار، ومن ثم طورت ذكور الطواويس ذيولًا مرهقة في حملها حتى إنها لا تستطيع أن تخفق مرتفعة إلى أدنى غصون أي شجرة إلا بصعوبة بالغة — وهذا فيما يفترض فيه إعاقة لطير يتوطن أرض النمور — وهي حيوانات مشهورة برشاقتها في التسلق، لا أحد يعرف السبب في أن إناث الطاووس تحب ذيول الذكور، هل هذا شيء ما يدور حول عمق ونقاء ألوان قوس قزح التي تدل على مدى جدارة الأساس الوراثي للذكر؟ أو أن إناث الطاووس تولي عناية أكثر لمقدار البقع الملونة فوق الريش وتماثلها، تلك البقع التي تُجعل جلية واضحة بوجه خاص إزاء خلفية وامضة من اللون الزمردي والفيروزي؟ هل يمكن أن تكون قدرة واستعداد الذكر — لحمل هذا الوزن الثقيل ونشره واسعًا في مروحة كلما مرت الإناث — هي التي تجدها الإناث فاتنة إلى حد بالغ؟ أيًا كانت الرسالة التي تُنقل، فهي رسالة لا يستطيع أي ذكر طاووس له كبرياء أن يتحمل تكلفة ضياع فرصتها منه.

هناك أيضًا نضال عنيف، ليس لجذب الرفيق فحسب بل لإبعاد المغازلين المنافسين أيضًا، وهو نضال يمكن أن يخلف أيضًا تأثيرات تطورية واضحة يحملها الحيوان. في كل موسم تزاوج، يقوم ذكور الأيائل بما يتجاوز قليلًا نطح القرون معًا، حتى تتدحرج في النهاية القرون الأصغر، وتغدو المجموعات الظافرة هي الفحول، أدت هذه المبارزات السنوية بين الذكور إلى أن تكون هناك جائزة كبيرة لامتلاك قرون كبيرة قوية تستطيع أن تتحمل المعركة من غير أن تنكسر، وجائزة أيضًا لامتلاك شعب عديدة تتفرع كالشوكة للتشبث بقرون المنافس وقلبه على جانبه، هكذا زاد إتقان

صنع زينة رأس الأيل لتتركب تركبًا متزايدًا مع الزمن حسب هذا الفرض، ولتتركب أيضًا في بعض الأحيان فوق رف مدفأة صياد من البشر. على عكس ذلك نجد أن ذكور الكثير من أنواع العناكب صغيرة الحجم إلى حد بالغ، ولا تزيد عن جزء من حجم الأنثى، والأنثى هنا لها حاجة ملحة لثقلها، وذلك حتى تمسك بالفريسة، ولتغزل خيوطها، ولتضع بيضها. العنكبوت الذكر لا يحتاج إلا إلى السرعة ليصل إلى رفيقته المهيأة للاستقبال، فيصل إليها قبل كل ذكور الكائنات الأخرى ذات الأقدام الثمانية، إلا أن حجم الذكر الضئيل يجعله ضعيفًا بلا حيلة إزاء الأنثى إذا كانت في حالة مزاجية لتناول وجبة خفيفة بعد المواقعة، هكذا فإن الحب فيه دائمًا بعض الأذى.

أبدى ويليام سيلتان ذات مرة ملاحظة ساخرة في مجلة سليت في الإنترنت تفيد بأن من يشكّون في التطور هم كأي مجموعة أخرى من الكائنات الحية يمكن أن يُرتبوا في فئات تصنيفيًّا. الأعضاء السلف لخط السلالة هم الأتباع المباشرون لمذهب التكوينية، أولئك الذين يفسرون سفر التكوين تفسيرًا حرفيًّا ويؤمنون بأن عمر الأرض هو ٦٠٠٠ سنة فقط، ويصممون على أن كل الأنواع، بما فيها البشر، قد صنعها الخالق «معًا بالكامل»، وينطبق هذا أيضًا على دوروثي وكلبها الصغير في قصة ساحر أوز؛[٣١] ليس هناك داروينية، ليس هناك انتخاب طبيعي، ليس هناك حصان إيوهيبوس Eohippus يلاقي دينوهيبوس[٣٢] Dinohippus[٣٣] ويتحدث إلى السيد «إد»،[٣٤] وليس هناك إناث طواويس صعبة الإرضاء إلى حد السخافة، ليس هناك عصر برمي جيولوجي، وليس هناك عصر تطور.

---

[٣١] ساحر أوز: قصة أطفال خرافية أخرجت عدة مرات في أفلام هوليود. (المترجم)

[٣٢] الإيوهيبوس: أقدم ما عرف من حيوان أشبه بالحصان في حفريات من عصر الإيوسين الذي انتهى من حوالي ٤٠ مليون سنة. (المترجم)

[٣٣] الدينوهيبوس: أكثر حصان شائع في أمريكا الشمالية في أواخر عصر البليوسين الذي انتهى من مليون سنة. (المترجم)

[٣٤] السيد «إد»: شخصية حصان يتكلم في الأفلام. (المترجم)

بقيت هذه العقيدة التأسيسية من التكوينية المتشددة وهي موجودة لعقود كثيرة وكثيرة من السنين — وكانت هي الحافز على قضية سكوب[٣٥] عن القرود عام ١٩٢٥م — ولا يبدو على هذه العقيدة أي علامات للانقراض. تمكن الإنجيليون الحرفيون في السنوات الأخيرة من إقناع متجر الهدايا لهيئة متنزهات الولايات المتحدة في جراند كانيون بأن يعرض كتابهم الكبير المزخرف الذي يحمل عنوان «جراند كانيون، نظرة مختلفة»، والكتاب فيه صور رائعة لغروب الشمس في تبادل مع ذكر حجج بأن وادي جراند كانيون هو من نتاج ما صنعه طوفان نوح. هناك متحف جديد عن تاريخ الأرض أنفق عليه بسخاء في وريكا سبرنجز بأركانساس يعرض نماذج تفصيلية دقيقة شكلت عن حفريات أصلية للتيرونوسورس والثيسلوسورس Tyrannosaurus وThescelosaurus وغيرها من الديناصورات، ولكن المتحف يضعها جنبًا إلى جنب مع آدم وحواء ويُرْجِع موت الديناصورات إلى حد بعيد إلى ذلك التفسير العجيب لكل التقلبات، أي الطوفان.

ومع ذلك فإن ضغوط النضال مع جبال وأنهار البراهين التي تشهد على قدم الأرض قدمًا هائلًا وإلى تطور الأنواع خلال الدهور، أدت كلها إلى حدث تكون نوع جديد؛ فنشأ عن التكوينية السلفية المتشددة نوع جديد، محاولات جديدة لتدمير ما توصلت إليه نظرية داروين عن التطور بواسطة الانتخاب الطبيعي، لعل أشهر استنتاج اشتقوه في هذا الصدد هو مبدأ التصميم الذكي، ومع أن هذه العبارة قصد بها الإشارة عن بعد لما يفترض من تصميم إلَهي، فإنه ما من ضير قط، إذا كنت ستبدأ معركة، من أن تنسب كلمة «ذكي» إلى صفك.

التكوينيون — من حيث المبدأ — يرفضون التفسير التطوري عن متى ينشأ النوع وكيف نفهم السرعة التي يركض بها التنوع البيولوجي الذي تعتمد عليه صحة الإنسان وكل مستقبل التقويمات الزمنية لنادي «سيبرا»،[٣٦]

[٣٥] قضية سكوب: قضية مشهورة بولاية تنيسي تدور حول تحريم تدريس الداروينية في المدارس الحكومية وكان المتهم فيها مدرسًا اسمه جون سكوب. (المترجم)
[٣٦] نادي سيبرا: أقدم هيئة للحفاظ على البيئة في أمريكا، نشأت في سان فرنسيسكو عام ١٨٩٢م. (المترجم)

ولا يرى التكوينيون شيئًا غير معقول بشأن المأساة الكوميدية التي نراها في أحد المتاحف عندما يصور الديناصورات وهي ترعى الأعشاب بجوار الماموث بوبره الصوفي، لأنهم غير مقتنعين بتنظيم طبقات سجل الحفريات الذي يفصل بين هذين الحيوانين بما لا يقل عن ٦٠ مليون سنة، وهذا رقم يزيد في كل حال على تقديرهم لعمر الأرض بعامل من ١٠٠٠٠.

أنصار فكرة التصميم الذكي هم من الجانب الآخر مستعدون تمامًا للموافقة على الأدلة الجيولوجية على أن عمر كوكبنا يقرب من ٤,٥ بليون سنة، وهم يتفقون مع رأي التيار الرئيسي بوجود خط زمان بيولوجي يرجع إلى بلايين عديدة من السنين، وهم لا يختلفون مع الافتراض القائل إن البشر قد نشئوا عن أسلاف من أشباه القردة العليا، ولا مع القدرة العامة للكائنات الحية بأكملها على التغير عبر الزمن لإنشاء أنواع جديدة. هناك عدد من العلماء من الأنصار الرئيسيين للتصميم الذكي، يعد مايكل ج. بيه من أعلاهم صوتًا وأفصحهم، وهو أستاذ في العلوم البيولوجية بجامعة لاي في بيت لحم بولاية بنسلفانيا، وقد كتب في أحد «مقالات الرأي» في صحيفة نيويورك تايمز يقول: «أنصار التصميم الذكي لا يشكّون في أن التطور قد حدث.»

النقطة التي يفارق عندها أصحاب فكرة التصميم الذكي صحبة أغلبية العلماء هي عن أصل أصغر مكونات الحياة، أي خلايانا هي و«ماكينات» الأنزيمات والبروتينات التي تحافظ على بقاء خلايانا وبقائنا في حال ممتازة، وكما يرى بيه والمتعاطفون معه، فإن خلايانا وما لها من تشكيلات ميكروية هي على درجة فائقة من الروعة وحسن التركيب والكمال المثالي، بحيث إن وجودها هكذا مما لا يكاد يصدق، وهم يقولون إن الكثير من البروتينات المعقدة الأساسية للحياة لا تعمل إلا إذا كانت كل الأجزاء موجودة معًا وتعمل بكل ثقلها، وإذا حدث وفشل مكون واحد في هذا التجمع الجزيئي، أو إذا حدث أن زنبركًا واحدًا فقد مرونته، فسوف ينهار كل التركيب، وبكلمات أخرى عندما نذهب إلى ما تحت المقياس الكبير للجسم، وإلى ما تحت أعضاء الجسد اللينة المضطربة الترتيب، ونصل إلى أسفل إلى مستوى

وحدات الجسم الأساسية، سنبدأ عندها في ملاقاة الروعة والجمال، أو ما يسمونه بأنه «التعقيد الذي لا يقبل الاختزال»، وهم يقولون إن هذه الحالة من تشارك البروتينات التي تدير العرض لا يمكن أن تنشأ تدريجيًّا عن طريق طفرات عشوائية وتعديلات لبنى موجودة من قبل، المكونات الجزيئية للخلية على درجة بالغة من الاستقلال، ودرجة بالغة من دقة الترتيب، بحيث لا يمكن أن تكون نتاجًا لما في الداروينية من الانتخاب الطبيعي المعتاد، والانتخاب الطبيعي يتطلب أن تكون هناك مراحل توسطية لبنية تتطور وتعطي ميزة لمتلقيها يتفوق بها على البنية السابقة له؛ فعندما تكون أنت ضفدعة تشبه شبهًا ضئيلًا ورقة الشجر، سيكون لديك ميزة ضئيلة للبقاء حيًّا تفوق ما لدى ضفدعة أخرى يبدو شكلها كضفدعة قح، ومن ثم فإن التمويه في شكل ورقة الشجر يمكن أن يتطور بأسلوب تدريجي خطوة فخطوة. عندما يتسع الجلد قليلًا في الأقدام الأمامية لأحد الثدييات الشجرية سيتيح له ذلك أن ينال بعض دفعة للارتفاع وهو يثب من أحد الأغصان، بما يساعد على هربه من الافتراس، ولذا سوف يمكنك أن تتخيل التمدد التدريجي للعضلة ثلاثية الرءوس الذي أدى إلى وجود الخفاش ذي الأجنحة، أما فيما يتعلق بتلك التجمعات الجزيئية، فإن أنصار «التصميم الذكي» يصممون على أنه ليس فيها ما هو بين بين، فلا بد أن تكون الأجزاء كلها في موضعها، وقد تزامنت الساعات معًا، وإلا فإن المنظومة تفشل. الانتخاب الطبيعي كما يقولون لا عمل له في التجمعات المستقلة المركبة، إذا أخفقت بالكامل مسودات نسخ أحد المنتجات فإنها لن تُنتخب وستظل هكذا معلقة أعلى إحدى الأشجار.

من بين الأمثلة التي يستشهد بها أنصار التصميم الذكي كثيرًا ليوضحوا عدم إمكانية اختزال التعقيد مكونات الحياة الأساسية البالغة الصغر مثل الأهداب الضئيلة التي تشبه الشعر والتي تدفع بها خلية البكتريا نفسها خلال الماء هي وخلية البراميسوم، وكذلك مسار سلسلة البروتينات الممتازة التي تنقل إشارات الضوء من العين إلى المخ، وميكانزم تجلط الدم بما فيه من تعقد يحمينا من أن ننزف نزفًا غير متحكم فيه مع كل وخزة من حرف

أحد الأظرف. في كل حالة من هذه، هناك بروتينات عديدة تتماسك معًا في وحدة وتعمل بإخلاص وحماس وطني، كأمة واحدة لا تقبل الانقسام؛ فلو أنك دمرت بروتينًا واحدًا من بين البروتينات الستين أو ما يقرب من ذلك، التي يتكون منها هدب البراميسيوم فإن الشعر لن يخفق بأضعف أو أبطأ عن ذي قبل، وإنما لن يستطيع أن يخفق مطلقًا، ولن تواصل خلية هذا الحيوان الأولي حركتها. تهرع الاستجابة بالتجلط لتنقذنا عندما نسيء التصرف ونحن نحلق الذقن في الصباح، وهذا التجلط له تصميم محكم كتصميم الرقصات في تسلسل من عشرة «عوامل» بروتينية متميزة، ولو حدث أن واحدًا فقط من هذه العوامل تعطل عمله بسبب طفرة جينية متوارثة، يمكن أن ينتهي الأمر عندها إلى الإصابة بالهيموفيليا (الناعور) أو «مرض النازفين» حيث يمكن أن يؤدي أبسط جرح إلى قتل المريض. يقول بيه متعجبًا كيف يمكن لشيء معقد وأساسي للبقاء على قيد الحياة، مثل تفاعل التجلط، أن يكون قد تطور من خلال الميكانزمات الداروينية الخرقاء المتكلفة، وكأنه يتم من خلال الربط التدريجي بين قطع مكعبات لعبة الليجو، الواحدة بالأخرى، ووجود عيب في خطوة واحدة لا غير يجعل العملية كلها تتوقف، أو في حالة الدم «لن» يتوقف النزف أبدًا؟

يواصل بيه كلامه قائلًا: إنه إذا كانت الوحدات الأساسية في الخلية وفي كيميائنا الحيوية وحدات مركبة لا تقبل الاختزال، وإذا لم يمكن تفسيرها على أنها ثمار القوى التطورية التقليدية كما نفهمها، وإذا كانت في الحقيقة تبدو على أنها قطع مصغرة رتب وضعها بعض عبقرية خالدة، وكأنها تدوينات رمزية علمية بالكامل مما دونه «ليوناردو»، فلماذا إذن نستبعد إمكان أنها ... ربما تكون نتيجة تصميم ذكي لا غير؟ لماذا لا نفسح مجالًا، عند صميم أساس الحياة، لإسهامات مصمم ذكي؟ إذا كان العلم العادي يفشل في تفسير شيء خارق للعادة مثل إحساس العين بالضوء، كيف يكون من العلمي عندها أن نغلق أعيننا عن الآراء البديلة والحقائق الأعمق، واحتمال أن هناك سببًا لتغير أشياء كثيرة؟ «تتأسس المحاجة المعاصرة عن التصميم الذكي على أدلة فيزيائية وتطبيق مباشر للمنطق» كما يصمم بيه،

«مع غياب أي تفسير **لا تصميمي** مقنع، فإن لدينا كل مبرر لأن نعتقد أن هناك تصميمًا ذكيًّا حقيقيًّا له دور في الحياة.»

يحرص مروجو مبدأ التصميم الذكي على ألا يذكروا من أو ما مصممهم المفترض، وما إذا كان مذكرًا أم مؤنثًا أم مزيجًا بينهما أم شركة مجهولة الاسم في ديلاوير، يكتب بيه قائلًا: مبدأ التصميم الذكي نفسه لا يقول شيئًا عن المفهوم الديني لخالق، عند علماء كثيرين يبدو هذا التنصل أمرًا مخادعًا. بيه لا يدعو حقًّا إلى ما هو أكثر إنصافًا أو إلى آفاق عقلية أوسع، ولا هو يطلب من العلماء أن ينقبوا في الأساس الجزيئي للحياة تنقيبًا أعمق وأشد مما فعلوه حتى الآن، فيتصوروا تجارب أوسع خيالًا، ويضاعفوا جهدهم للعثور على تجارب بعوامل تحكم أكثر اتقانًا، الرسالة الأساسية لمدرسة المصمم الذكي تقول: نأسف يا قوم، لا يوجد أي شيء آخر يمكن أن نفعله، لقد وصلنا في بيولوجيا الجزيئات والخلايا إلى أقصى حدود ما يمكن للعلم أن يقوله لنا، وصلنا إلى نقطة من التعقيد الذي لا يقبل الاختزال، وعندما لا نستطيع أن نختزل شيئًا معقدًا إلى أجزاء أبسط وأكثر قابلية لأن نتناولها، فإننا عندها لن نستطيع أن نفعل بها الكثير، أليس كذلك؟! العلم يتطلب درجة ما من الاختزالية، إمكان ما لتفكيك الأجزاء والتركيز على متغير واحد أو متغيرين، ولكن إذا كان الانتخاب الطبيعي لا يستطيع فيما يُفترض أن يدبر أمر سلسلة أحداث التجلط قطعة قطعة، فأي أمل يأمله العلم إذن في أن يتتبع هذه السلسلة على نحو منهجي حتى يصل إلى البداية؟

إلا أن علماء الجزيئيات ليسوا مستعدين أبدًا لأن يرفعوا أيديهم يائسين إزاء أي مشكلة ويصيحوا: «واهًا، هذه مشكلة معقدة للغاية! لم أر قط أي شيء كهذا بالغًا في تعقيده وعدم إمكان اختزاله! ليس أمامنا إلا أن نلقي ما لدينا من مذكرات المعمل في جهاز التعقيم، ونستدعي عبارة **التدخل فوق الطبيعي**، وننطلق بعيدًا سعيًا لبعض لحم الفاهيتا المكسيكي وشراب من البيرة؟» العلماء كمجموعة يتنافسون ويجدّون في عملهم إلى درجة تبعد بهم كثيرًا عن أن يقولوا إنهم لا يستطيعون فعل ما هو أكثر من ذلك عندما يكون من الواضح أنه يجب فعل ما هو أكثر كثيرًا،

يجادل العلماء أيضًا بأن التجميعات الجزيئية الخاصة وتسلسل تفاعلات البروتينات التي يستشهد بها أنصار التصميم الذكي على أنها أشياء معقدة غير قابلة للاختزال وتقاوم الخضوع للتحليل الدارويني، هذه كلها يمكن بمجهود متوسط أن تُفَكَّك إلى وحدات فرعية قابلة لأن نتناولها وأن تفسر هذه المكونات كسنتجات للانتخاب الطبيعي. كينيث ميلر أستاذ للبيولوجيا بجامعة براون في رود أيلاند وله كتاب عنوانه «العثور على رب داروين: بحث عالِم عن الأسس المشتركة بين الرب والتطور»، يفكك ميلر في كتابه بناء الكثير مما يُعرض غالبًا كأمثلة للتعقيد الذي لا يقبل الاختزال، ومن أكثر ما ذكره حيوية تشريحه الحي لتصميم خطوات تجلط الدم، يصف ميلر التفاعلات التي تتدرج خطوة فخطوة وتنتهي عند الذروة بتكون الجلطة: كيف أن جرح سطح الجسم يستثير تتاليًا من الإنزيمات، أو العوامل، التي تدور في الدم، وكل منها يُخَصَّص له ترقيم بأعداد رومانية، وكمثال لذلك هناك العامل الثامن(VIII)، والتاسع (IX)، والعاشر (X)، وكيف أن تنشيط أحد العوامل مشروط باستثارة كل الجنود الرومان السابقين له، وكيف أنه عند كل عقدة من السلسلة تتزايد قوة الإشارة البيوكيميائية إلى ما يصل لمليون مثل، وكيف أن العامل العاشر (X) في النهاية يبرز بوق إيقاظ حماسي لإنزيم يسمى الثرومبين ينزع سلاسل جانبية صغيرة واقية عن بروتين كالحبل يسمى الفيبرينوجين، ليجعله بروتينًا لزجًا، هذه الفيبرينوجينات الجديدة اللزجة كالغراء تتكور سريعًا معًا، فتحصل على جلطتك.

يقر ميلر بأن هذه الخطة معقدة متشابكة: «إنها مثل ماكينة روب جولدبرج»[٣٧] كما أننا «إذا أبعدنا أي جزء من هذه المنظومة فسيؤدي ذلك إلى المتاعب». عيّن علماء الوراثة الطبية أمراضًا تنبع من طفرات فيما يكاد يصيب كل عامل من العوامل في مسار التجلط، وكلها تؤدي إلى أمراض خطيرة، ويكتب ميلر: «لا مجال للشك هنا، التجلط وظيفة ضرورية وليس

[٣٧] روب جولدبرج رسام كاريكاتير أمريكي مشهور (١٨٨٣–١٩٧٠م) ابتكر في رسومه الفكاهية ماكينة معقدة جدًّا تقوم بمهام غاية في البساطة بطرق معقدة ملتوية غير مباشرة. (المترجم)

شيئًا يمكن العبث به، ولكن هل هذا يعني أيضًا أنه لا يمكن أن يكون قد تطور؟ لا مطلقًا.»

يفسر ميلر قائلًا إنه في حدود ما نعرفه فإن الحيوانات الوحيدة التي تعتمد في تجلط دمها على شبكة من تفاعلات البروتين هي الحيوانات الفقارية — نحن الثدييات ذات العمود الفقري، وكذلك الطيور، والزواحف، والبرمائيات والسمك — وبعض المفصليات، خاصة الأنواع الكبيرة ذات الصدفة الصلبة مثل جراد البحر والسرطان. ولكن هذا لا يعني أنه لو قطع وعاء دموي في إحدى الديدان أو سمكة نجم البحر فإنها ستظل تنزف حتى الموت، الكائنات التي ليس لها بروتينات تجلط تعتمد بدلًا من ذلك على خلايا بيضاء «لزجة» تدور في تيار دمها لترقيع جروحها، وعندما يحدث جرح تتشبث الخلايا اللزجة بأي بروتين، مما يبرز من سطح الجلد المكشوف مثل بروتين الكولاجين، وفي خلال زمن من دقائق معدودة يتضامن عدد كاف من الخلايا البيضاء عند موضع الجرح ليشكل سدادة توقف المزيد من فقد الدم، عند مقارنة هذه الطريقة للإسعاف بشريط لاصق من الخلايا مع طريقة عمل بروتينات التجلط عندنا على نحو سريع ممتاز فإن طريقة الخلايا اللاصقة تبدو بدائية وبطيئة، يمكن لهذه الطريقة أن تنجح في الكائنات التي يكون ضغط الدم فيها منخفضًا نسبيًّا فقط، وهو ما يتفق أنه موجود عند معظم اللافقاريات، ومع ذلك فميلر يجادل قائلًا: «إن هذا بالضبط نوع المنظومة **غير المكتملة والبسيطة** التي يعتبرها داروين نقطة بداية للتطور.»

مرة أخرى يعترض ميلر على ما يُخشى من أن يظن البعض أنه حتى منظومة اللافقريات البسيطة هي أكثر تعقيدًا من أن نرجعها إلى قــوى التطــور؛ فهذه الخلايا البيضاء تفيد في أهداف شتى غير التجلط، بما في ذلك توصيل المواد الغذائية. يطرح ميلر أن نتخيل أن وعاء دم فيه تسرب من شق، ولنتخيل أن عددًا قليلًا من هذه الخلايا البيضاء قد اكتسبت عشوائيًّا طفرة تجعلها لزجة عندما تتعرض للنسيج الليفي الممزق للأدمة المشقوقة، ويكتب ميلر: «أي تغير ... في الخلايا البيضاء يجعلها تلتصق، حتى ولو

لدرجة هينة، لتشكل هذا النسيج الغريب من البروتينات؛ سيكون تغيرًا يحبذه الانتخاب الطبيعي لأنه يساعد على سد أماكن التسرب.» وبكلمات أخرى، قد يتفق أن طفرة عشوائية تكسب الخلايا البيضاء لدودة ما من السلف أو قنفذ بحر من السلف لمسة من شريط «فيلكرو» للصق والإغلاق، فيساعد ذلك في أن يتحول الكائن الذي ينزف حاليًّا إلى كائن منتج للنسل في المستقبل، ومن ثم ستُنتخب هذه الطفرة لتنتشر بين العشيرة، ويكون هذا بالدم! هكذا تولد أول المراحل البدائية لمنظومة التجلط.

يعتمد ما لدينا من آلية للتجلط في الفقريات على بروتينات الدم بدلًا من الاعتماد على خلايا مكتملة لصنع الجلطة، إلا أنه مع ذلك يظل ينطبق عليه المنطق الدموي نفسه، العوامل البروتينية التي تجعل دماءنا سميكة متجلطة تشابه تمامًا البروتينات الموجودة في البنكرياس وأعضاء أخرى أيضًا وليس لها أي علاقة بالتجلط، ولكنها بدلًا من ذلك تشبّك وتقرن معًا أنواعًا مختلفة من الإشارات البيوكيميائية، على أن مهمة التشبيك والجدل معًا هي بالضبط نوع المهارة اللازمة لأن توصِّل معًا روابط في الدم عند نقطة الأزمة بحيث يوقَف فقدانه سريعًا. تدل كل المظاهر على أن بروتينات التجلط عندنا تُحشد من صفوف نظام موجود من قبل لإنزيمات معالجة أعم، إلى جانب أن الجينات التي تشفر لهذه البروتينات القائمة بعمليات المعالجة هي جينات توجد مزدوجة لتزيد من حجم مستودع هذه القدرة، ويحدث تدريجيًّا أن عددًا من بروتينات عمليات المعالجة، تلك التي تسمى إنزيمات سيرين بروتييز، تخصَّص للالتزام بمهمة التجلط، وتُشحذ ردود فعلها، وتُجعل شبكة إشاراتها الداخلية أكثر إحكامًا وتضخيمًا، وتُجعل على نحو إجباري في حالة من تبادل مزدوج للمنفعة، بحيث إن مصير وقوة كل منها يرتبط بسائرها. غدا التجلط الآن وكأنه مزاولة مهنة مثل لعب البيسبول، كما أن فريق اليانكي للبيسبول لا يستطيع أن يلعب بفرقة من ثمانية أفراد، نجد بالمثل أن فقدان عامل تجلط واحد يمكن أن يهدد حياة الفرد منا ويصرعه بعيدًا عن المباراة. ما يوجد حاليًّا من اعتماد متبادل بين عوامل شبكة التجلط يفسر سرعة العملية وقوتها على نحو خارق للمعتاد،

ولكن هذا لا يعني أنها كانت هكذا منذ الأبد، أو أنها لا يمكن أن تكون إلا هكذا، يكتب ميلر قائلًا: «تجلط الدم ليس ظاهرة إما تحدث كاملة أو لا تحدث على الإطلاق، إنه مثل أي منظومة نظام معقد، يمكن أن يبدأ في التطور وهو بسيط وغير مكتمل، بداية تكون بالمواد الأساسية للدم والأنسجة.» قنفذ البحر ينفذ ذلك بخلايا بسيطة بيضاء، كما أن طفلين معهما كرة يمكنهما أن يلعبا بها في المتنزه اللعبة البسيطة «اقذف والتقط».

نحن لا نعرف كيف بدأت الحياة، نحن لا نعرف إن كان ذلك محتمًا فيزيائيًّا باعتبار ما للأرض من كيمياء أرضية وما للشمس من سخاء، ونحن على وجه التأكيد لا نعرف إن كان ذلك بأي حال قد حفز روحيًّا — كتعبير عن حب قدسي، أو فضول كوني — رغبة الكون في أن يفهم ذاته، نحن لا نعرف كيف كانت أول أشكال الحياة أو كيف كانت تسلك؛ ربما كانت مصنوعة من حمض ريبونيوكليك أي رنا، أو من بروتينات، أو من جزيئات لم تكتشف بعد أو تعد مسئولة بعد. نحن لا نعرف بالضبط متى نشأت الحياة بعد تكوين الأرض منذ ٤,٥ بليون سنة، ربما كان ذلك مبكرًا تمامًا بالنسبة لتاريخ كوكبنا. يعمل هارولد يوري وستانلي ميلر في جامعة شيكاغو وقد اكتسبا شهرة دولية في خمسينيات القرن العشرين عندما سعيا لأن يعيدا في المعمل إنتاج الظروف المبكرة للأرض وأمكنهما أن يولدا الأحماض الأمينية، وحدات بناء البروتين، سئل ميلر ذات مرة أن يخمن ما طول الزمن الذي استغرقته الحياة لتبدأ، وأجاب: «ربما يكون العقد الواحد من السنين أقصر مما ينبغي، وربما يكون كذلك قرنًا واحدًا أيضًا، إلا أن عشرة آلاف أو مائة ألف سنة قد تبدو على ما يرام، وإذا لم تستطع أن تفعل ذلك في مليون سنة فربما لن تستطيع ذلك مطلقًا.» على أن الفعل المؤثر في الفقرة السابقة هو «يخمن». الأدلة الحفرية للحياة الباكرة فيها بكل الأسف ثغرات واسعة، وأيًّا ما كانت الطبيعة البيوكيميائية للجزيئات الأم التي أمكنها لأول مرة أن تنسخ نفسها فإنه من المؤكد أنها لم تكن لها أجزاء صلبة، لا شيء يصلح للأرشيفات الرسوبية، وحتى بعد أن نجحت المواد الكيميائية الناسخة لذاتها في أن تنغلق على نفسها منفصلة عما حولها، ورسم كل منها الحدود بين ما هو أنا وما

هو ليس بأنا، وهي تستخدم في ذلك غشاء دهنيًّا مرنًا زلقًا، معلنة ذاتها أنها خلية، حتى مع كل هذا ظلت الحياة الصغيرة السن لا تهتم بالغد أي اهتمام.

إلا أن هناك شيئًا واحدًا له وضوحه، لقد بدأت الحياة، الحياة تحب كل الحب أن تبقى حية حتى إنها لم تكف أبدًا عن الحياة ولا للحظة واحدة منذ بدايتها المتفجرة. تواصلت الحياة على مر ملايين السنين منذ نشأت أول الخلايا، تلك الفقاقيع الريانة التي تحوي الشفرة لتبرعم المزيد من الفقاقيع، شفرة الحياة، ذلك النص المكتوب في العبارات النووية لدنا ورنا، إنها شفرة عامة للكل، وكل كائن حي يمتلك قطعة منها، كل كائن حتى لو كان فيروسًا طفيليًّا يعيش بما يقرب من الحياة، مروجًا الدعايات عن نفسه، ولا توجد أي وسيلة أخرى يقول بها أي كائن إنه حي إلا عن طريق وحدات كلمات الأحماض النووية. لو أن الحياة نشأت بأكثر من مرة واحدة، لو أن أصولها كانت متعددة الشعب بدلًا من أن تكون وحيدة الشعبة، لرأينا تعددًا في الشفرات، منتخبات من تعليمات بيوكيميائية للنمو والحفاظ على الحياة، إلا أننا لا نرى ذلك. عندما ننظر إلى خلايا من كائنات تعيش في قاع المحيط على عمق ٨٠٠٠ قدم تحت سطح الماء وتنعم بدفء خيوط الماء المغلي التي تزبد صاعدة من منافذ ينابيع حارة، سنرى عندها الدنا. عندما نتفحص داخل خلايا بكتريا ظلت حبيسة في الثلوج القطبية لأكثر من مليون سنة، سوف نرى عندها الدنا. تنشأ الأنواع، وتتكاثر وتتنوع، وتموت، ولكن الدنا يبقى موجودًا، لو لم نجد الدنا في كائنات العصر الكمبري من الهالوسيجينيا Hallucigenia الشائكة التي كان لها سبع مجموعات من مجسات ذات مخالب تصلح لكسح قاع المحيط، لوجدناه في السمكة الرئوية المفترسة ديبتروس Depterus التي تنتمي للعصر الديفوني، ولو لم نجده في ثلاثيات الفصوص، لوجدناه في الزواحف المجنحة، ولو لم يكن في الدودو[٣٨] لوجدناه في لويس كارول.[٣٩] خط زمن الحياة متقطع بسبب وجود انقراضات جماعية كبرى وأخرى صغرى،

[٣٨] الدودو: طائر منقرض من فصيلة الحمام، حجمه أكبر من الديك الرومي. (المترجم)

[٣٩] لويس كارول (١٨٣٢–١٨٩٨م) مؤلف إنجليزي مشهور ورياضي ومنطقي، من أشهر ما ألفه «مغامرات أليس في بلد العجائب». (المترجم)

وسنجد في أسوأ الظروف من هذه الإبادات أن مجموعات هائلة من الشعب قد اقتلعت لتختفي من الأرض، وأن الرتب التي اختفت يفوق عددها ما ظل متبقيًا بنسبة تزيد عن التسعة إلى أقل من الواحد، أيًّا ما كان الحال فقد واصل الدنا أن يكرر نفسه لأعلى ولأسفل، وأن ينقلب رأسًا على عقب في مكان ما، في خلية ما، ويقرأ نفسه للخلف، «ولكنه» لا يحدث له أبدًا أن ينضب.

جنتر بلوبل عالم بيولوجيا الخلية في جامعة روكفلر، وحاصل على جائزة نوبل، وله أسلوبه الفكه، وهو يرى الروعة الواضحة في وظيفة الحياة المتصلة، ويقول: «عندما يصل الأمر إلى أعماق الموضوع فإن عمرك ليس بعشرين أو ثلاثين أو أربعين سنة، وإنما يصل عمرك إلى ٣,٥ بليون سنة، قد يرى بعض الناس أنها فكرة مرعبة أن نكون قد أتينا من القرود، الأمر أسوأ من ذلك — أو أنه أفضل، حسب منظور رؤيتك — لقد أتينا من خلايا وُجدت منذ ٣,٥ مليون سنة.»

ثم يقول: «هناك هذا الخيط الهائل للحياة الذي يرجع يعود إلى زمن نشأة أول الخلايا، وسوف يتواصل هذا الخيط بعد أن يموت أي واحد منا، هذه حياة متواصلة، وانقسام متواصل للخلايا، ونحن كلنا امتداد لهذا التواصل، فمذهب تناسخ الأرواح والموضوعات المشابهة تُعد مجرد تمثيل شعري للواقع البيولوجي.»

يقول بلوبل إنك إذا أردت أن ترى نفسك كما أنت في الواقع، أو كما كان أسلافك، أو كما ستكون سلالتك، فلتنس في ذلك أي مرآة، عليك أن تشق خلية لتفتحها وتلقي نظرة داخلها.

الفصل السابع

البيولوجيا الجزيئية

خلايا وصفارات

في كل ليلة قبل أن أذهب إلى الفراش، أشن حربًا ضارية داخل فمي؛ أول كل شيء أنظف أسناني باستخدام ثلاثة أنواع مختلفة من خيط تنظيف الأسنان: خيط زلق عادي لمعظم الأسنان، ثم خيط بالغ الرهافة من نوع «الخيط المحمول على عود» للوصول إلى الأسنان الخلفية بمسافاتها البينية الضيقة، وأخيرًا «الخيط الفائق» بما فيه من سلسلة قطاعات تتدرج من الرفيع الناعم إلى السميك الخشن لتنقب فيما تحت التيجان الصناعية للضروس وتركيبات الجسور، ثم أستخدم فرشاة أسناني الإلكترونية بتصميمها المثير للشهوة، وهي أداتي لإزالة صفائح الجير وتدليك اللثة، أنظف بها أسناني لمدة دقيقتين، أو لزمن أطول إذا كنت قد قررت أن أبدأ في طي الغسيل بيدي الخالية، وأخيرًا أغسل فمي بمضمضة سخية من نوع «ليسترين»، أتمضمض بها من خد إلى الآخر مرة بعد أخرى، وشمالًا وجنوبًا، وكما تقول الأغنية فإن بروتكس في شمال نيويورك ومتنزه باتري في جنوبها، وأستمر حتى تُمسح وتنظف كل أسطح اللثة وتجويف الفم بهذا السائل الناري، ثم ألفظه بعدها.

في أي وقت أشعر فيه بالاكتئاب أو الكسل أبدأ التفكير في هذه الليلة في حذف خطوة أو اثنتين مما سبق، ولكني أتذكر ذلك اليوم الكريه وأنا في

سن العاشرة، عندما أخبرني طبيب أسناني بأن لديّ اثنين وعشرين تجويفًا جديدًا، وأنه سيقضي كل يوم سبت في الشهور الستة القادمة وهو يضع في فمي ذراعيه اللذين يثيران الكرب بشعرهما الكث، أو أتذكر ما تحققت منه منذ زمن قريب وأنا أحملق في صور أشعة إكس لأسناني، تبًّا للتخدير بالنوفوكين المقدس! أيمكن أن يكون هذا صحيحًا؟! تسع عمليات حتى الآن لإزالة أعصاب الضروس، أو أفكر فيما تعلمته من بوني باسلر عالمة الميكروبيولوجيا في جامعة برنستون، التي يتفق أن لها مكانتها العلمية، وقد تعلمت منها حكاية تمكّن الفساد في الأسنان.

قالت لي باسلر: لعلك تعرفين أن وجود تجاويف في الأسنان ناتج عن البكتريا، أما ما يحتمل أنك لا تدركينه فهو مدى ما يمكن لهذه البكتريا أن تصبح عليه من فاعلية وبراعة وحيلة واسعة وسلوك مثابر منظم لا يلين، يُثبت في النهاية أنه مع التاريخ المأساوي لأسناني، فإنه ليس من السهل لعوامل فساد الأسنان من البكتريا أن تغرس أسنانها في أسناننا، وأن تظل باقية في مكانها الزمن الكافي لتثقب الخروم خلال ميناء الأسنان الواقي لتتغذى بعدها على النسيج اللين الموجود تحت الميناء؛ نجد من ناحية أن الفم يفرز اللعاب دائمًا، وهو يفرزه بهدف: فاللعاب جزء من نظام الجسم الدفاعي، وهو سائل له مفعول معتدل كمطهر من الجراثيم وقد صُمِّمَ ليساعد على جرف البكتريا من الأسنان لتهبط إلى البيئة المدمرة التي تفترش المعدة، ونجد من ناحية أخرى أن ميناء الأسنان تتشكل من أصلب مادة في الجسم؛ فهي أصلب من العظام، وأصلب من ظفر القدم الذي يُهمل قصّه في رحلة بمخيم، ومادة الميناء قد مكّنت أسنانًا كثيرة من أن تبقى موجودة بعد الوفاة لزمن طويل، الأسنان ممثلة بوفرة في سجل الحفريات. يعمل مايكل نوفاسك في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي، وقد قال لي مازحًا إن المرء ربما يعتقد أن تاريخ الحياة على الأرض يتكوّن من أسنان تواقع أسنانًا لتتجنب أسنانًا أخرى.

إذن كيف تتمكن بكتريا الفم من التمسك بموضعها وتوجيه ضرباتها من خلال ميناء الأسنان الحية، في زمن أقل من عمر الإنسان؟ نحن نعطي لهذه

البكتريا ميزة أن تبدأ متقدمة في السباق وذلك بواسطة سوء اختيارنا للأغذية، مثال ذلك: أن نمضغ لبانًا سكريًّا يُنفخ في فقاعات، أو نمد يدنا بما لا تفسير له لنتناول قطعة حلوى صلبة ملفوفة في ورق سيلوفان تحتفظ بها الجدة فوق منضدة القهوة منذ أيام الرئيس فورد. لا يقتصر دور السكر على أنه يجتذب البكتريا، وإنما هو يساعدها أيضًا على التشبث بأسنانك وتأخذ في مهاجمتها وكأنها في معركة بيرل هاربور معركتك أنت، وهذا التشبيه العسكري ملائم تمامًا، وكما يحدث بالضبط في هجوم كامل، تخرج أنت قاذفات قنابلك، وطائراتك الهليكوبتر، ودباباتك، وقواتك للمهام الخاصة البحرية التي تسمى «نحل البحر» و«فقمة البحر»، ذلك أن هناك ستمائة نوع متمايز من البكتريا تشارك في ضربات هذه الحرب الخاطفة، أنا لا أتحدث هنا عن ستمائة خلية مفردة من البكتريا، وإنما أتحدث عما يقرب من ستمائة نوع مختلف — أو ستمائة سلالة كما يدعوها بعض علماء الميكروبيولوجيا — وهي كما تقول باسلر — يختلف كل نوع منها وراثيًّا عن الآخر «بمثل ما قد يختلف به سكان المريخ عن البشر». هذه مئات من الأنواع، ومئات الآلاف أو الملايين من الأفراد الأعضاء في هذه الأنواع، كلها تتعاون لهزيمة أسنانك وتدميرها. تقول باسلر: إنه قد يتمكن أحد الأنواع في أن يتمثل غذائيًّا بقايا السكر فوق الأسنان، وينجح نوع آخر في التشبث بالميناء، وربما يطلق نوع ثالث مواد كيميائية كاشطة تبدأ في كشط الميناء. لن تستطيع بالطبع أن ترى أيًّا من هذه الناخرات الصغيرة الخسيسة. البكتريا التي تقيم في فمنا هي مثل معظم خلايا البكتريا ضئيلة ضآلة تثير السخرية، حجمها جزء صغير من حجم خلايا جسمنا، لو عدنا لنتذكر رأس دبوسنا، فإنها تستطيع أن تحمل ثلاثة بلايين من هذه البكتريا، ولكنك تستطيع أن تشعر بما عندك من بكتريا لتسويس الأسنان، أجل تستطيع أن تشعر بالغشاء الرفيع من الوحل الذي تتركه فوق أسنانك، الوحل الذي نسميه الجير، هذا الجير يقوم بدور الراهب راسبوتين[1]

[1] راسبوتين، جريجوري (١٨٧٢–١٩١٦م): راهب روسي دجال تمتع بنفوذ كبير في بلاط قيصر روسيا نيقولا الثاني، عرف بفسقه وفجوره، ونجا من محاولات عديدة لقتله حتى تم ذلك في النهاية. (المترجم)

أو قطة مستر جونسون،[٢] افعل ما شئت، ولكن صفائح الجير ستعود ثانية. تقول باسلر: «في وسعك أن تنظف أسنانك بالفرشاة مساء، ولكن البكتريا ستعود ثانية في الصباح، ستعود ثانية بلا تردد، لا يعوزها العزم أو التصميم، ستعود ثانية وهي تتسم في كل مرة بنفس النظام والبناء الراقي.»

هكذا أعاود في كل يوم أمزق أسناني بالخيط والفرشاة والغسول النعناعي، وأنا أعرف العدو، وأعجب بالعدو. ربما لن أستطيع إبقاء العدو بعيدًا، ولكني عندما أقلل لأدنى حد وبانتظام من تأثيره في أسناني، فأنا على الأقل أسجل هدفًا على طبيب أسناني.

أنت لا تستطيع تعقيم فمك، أو يدك، أو وجهك، مهما استخدمت من زجاجات المواد المطهرة لأسبوع بأكمله؛ فأنت مغطى بالبكتريا، ربما هناك نصف مليون منها تغطي جلدك بدثار، حشد في موطن بيئي ميكروي لآلاف عديدة من سلالات مختلفة، هناك ملايين من البكتريا تشغل بسعادة الفتحات الرطبة لجسمك: الفم بالطبع، والأنف، والأذنين، والمهبل، وقناة مجرى البول، وفتحة الشرج، والأمعاء السفلى. عندما تتنفس، فإنك فيما يتفق تستنشق دوّامات حاشدة من البكتريا المحمولة بالهواء، وإن كانت في أغلبها غير ضارة، وغير قادرة على استعمار رئتيك وجعلك مريضًا، عندما تمشي تمشي من خلال ومن فوق نسيج رقيق من بكتريا تحتشد متدافعة، كحشود جمهور احتفالًا بذكرى مصطنعة في متنزه سنترال بارك وإن كانت حشود البكتريا أقل درجة في المظهر الصارخ. إذا حككت سبابتك عبر هذه الصفحة فإنك ستزيح أو تزعج مليون ميكروب. نحن نتحرك بتهور طائش في هذه الحياة، وكأننا عمالقة في رسوم الفنان المشهور جاري لارسون الكرتونية، ولا ننتبه لهذه الميكروبات إلا عندما نسعى لقتلها، أن نقتل صفائح الجير، أو البتكريا السبحية المسئولة عما يصيبك من التهاب شعبي تنجم عنه أصوات كنغمات البوق، على أن البكتريا تكون في معظمها حميدة، ولا تريد منا أكثر مما نؤديه لها، والكثير منها مفيد تمامًا، وبعضها

[٢] قطة مستر جونسون قطة في أغنية شعبية مرحة عن مستر جونسون العجوز الذي كلما حاول أن يتخلص من قطته عادت له ثانية. (المترجم)

ضروري لاستمرار بقائنا؛ فهي تغذينا، وتطهو لنا، وتنظف ما نثيره من فوضى. والبكتريا التي تقيم في جذور النبات عندما «تثبّت» النيتروجين في شكل مناسب للنباتات فإنها تتيح للنباتات أن تنمو، والنباتات بدورها تعطينا كل ما نأكل: خبزنا اليومي، وخسنا وطماطمنا، وشرائح الحيوان المشوية، وما إن نتناول وجباتنا، حتى تُهضم بمساعدة بكتريا الأمعاء، يبلغ عدد خلايا البكتريا ما يقرب من ٩٩ في المائة من الخلايا في الأمعاء الدقيقة، وهي تزدهر في دفء ووفرة المواسير في أمعائنا، وفي مقابل ذلك فإنها تخلّق الفيتامينات من أجلنا وتساعدنا في أن نستخلص من طعامنا عناصر غذائية أساسية كانت بغير ذلك ستمر من الأمعاء دون أن تجد من يطالب بها.

أينما نذهب نجد البكتريا، وهي تؤدي ببسالة أعمالًا دنيوية فيها قذارة، لو حفرت لتستخرج جرامًا واحدًا من التربة، قبصة طفال رملى توضع في غطاء إصبع السبابة، فإنك عندها تنظر إلى آلاف من الأنواع المختلفة من البكتريا، الكثير منها تعيد تدوير الفتات، وتعمل على تحلل ما يموت وما يلقى به من النفايات، لتجعلها صالحة لحياة جديدة، أو لننظر أمر حشرات الأرضة الحراس الأساسية للأرض في غابات المطر الاستوائية: إنها تقضم في الأشجار الميتة أو العفنة، وتعيد الكثير من الثروة الخشبية إلى أرضية الغابة، لجسم الأرضة رأس فيه فك وبطن فيه بكتريا وكأنها تحتشد في مزرعة لها، وحشرات الأرضة ليست إلا مجموعة من الفكوك ربطت بأطباق تزريع لتربية الكائنات الدقيقة، فأحشاؤها منظومة بيئية ضئيلة الحجم من مئات كثيرة من سلالات الميكروبات، تساعد هذه البكتريا حشرات الأرضة على أن تستخلص بعنف قوت حياتها من نشارة الخشب، وهي مثل «جيبتو» النجار في القصة الكرتونية الذي صنع «بنكيو» دمية الخيوط المتحركة وتمنى لو أصبحت الدمية بشرًا فتحققت أمنيته، هذه البكتريا مثل جيبتو النجار تهب صوت الحياة للخشب الميت.

تلمع بعض البكتريا متألقة بما تنعم به من نفس المواد الكيميائية المتوهجة التي تجعل اليراعة تتألق طلبًا للذكور والحب، وهكذا فإن هذه الميكروبات المنيرة لا تضيء إلا عندما تحيط بها ميكروبات أخرى من نوعها.

تقوم بعض البكتريا بدور جاكسون بولوك[٣] فتنثر بالرش تدفقات الكالسيوم المكدسة في حديقة يللوستون القومية لتغدو أشرطة بلون وردي، وأزرق، وأخضر، وكهرماني، وطوبي، كل لون يعطي بصمة عشيرة معينة من البكتريا تولم على عجين مخمر من الطباشير.

تعيش البكتريا في كل مكان، بل في أقصى الأماكن اللعينة المهجورة التي لا تكاد تُعرف؛ فهي تعيش فوق قمة جبل إيفرست، وفي قاع البحر، وهي تعيش في قلنسوات الجليد القطبية وعند فتحات ينابيع المياه الحارة التي تغلي، وتنجح في العيش داخل صخور قد دفنت عميقًا تحت الأرض، وهي تمتص المعادن الثقيلة والبترول المسكوب، وتدور في ثنايا قنوات ممارسة الجنس. هناك نوع من البكتريا يُسمى بما هو جدير به باسم «دينوكوكس راديو ديورانس» Deinococcus radiodurans أو المكورات التي تتحمل الإشعاع، ذلك أن هذا النوع يتحمل انفجارًا للإشعاع بمقدار يزيد ١٥٠٠ مرة عن الجرعة التي تقتلنا، وتزيد خمسة عشر مرة عن الجرعة التي تحيل الصرصور إلى شيء مغلي، مع أنه الحشرة التي لها قدرة هائلة على النجاة من الإشعاع.

على أنه مهما تكون البكتريا في إثارتها للإعجاب بقدراتها التي تشمل كوكبنا كله، وبحيوية نشاطها بلا حدود، فإن هذا التألق الرائع يعود بالفائدة في النهاية على تألق رائع لما هو أكثر عظمة منها وأسهل تناولًا، وأكثر تأسسًا عنها، تألق فائق لكيان بُنيت منه البكتريا هي وكل كائن حي آخر فوق الأرض، إنه الخلية. لا ريب في أن الخلية هي أعظم اختراع في تاريخ الحياة على هذا الكوكب. وكما يقول جونتر بلوبل، فإنه منذ وقت أن نشأت أول خلية، ظلت الخلية هي كل شيء، كل الوقت، خلايا لا ينتهي أبدًا انقسامها لتصنع المزيد من الخلايا، لتُبقي الحياة حية بالطريقة الوحيدة التي تعرفها: في سياق من الخلية، وحسب خطة تصميم الخلية. البكتريا تعطي المثل لطبيعة حياة الخلية لأنها نفسها كائنات وحيدة الخلية. كل

---

[٣] جاكسون بولوك (١٩١٢–١٩٥٦) رسام أمريكي مشهور بالرسم التجريدي والتعبيري واستخدام وسائل للرسم تختلف عن الفرشاة والألوان التقليدية. (المترجم)

خلية بكتريا كائن حي، وهي تحتفظ في داخلها بالكيماويات، والمكونات والظروف المطلوبة للإبقاء على الحياة، وهي تضم داخل غلافها قصة النجاح الهائل الذي تدعو الخلية إلى تحقيقه، المهمة الدائمة الفذة للخلية، التي لا تنال الخلية أبدًا أي عطلة أثناءها، ولا تخرج من عملها قط لتناول الغذاء كما لا تخرج عن الخط المحدد، أو تخرج عن حد النمو، أو عن حد ما يؤدَّى، أو تخرج عن حدود الشكل، أو النمط، أو تنمحي وتزول، لا يحدث أي من هذا منذ نشأت أول خلية منذ ما يقرب من ٣ بلايين سنة. هذا هو ما يذهل، أحد أعمق المبادئ الأساسية التي تقدمها البيولوجيا: بمجرد أن جذبت أول خلية زمام أمورها معًا، حتى جمّعت نفسها في ذات قابلة لأن تُخدم وتخدم نفسها، لا مجال للالتفاف وراء، ومنذ ذلك الوقت لم توجد بأي حال لحظة تخلو من خلية. ومع ظهور قوافل شريرة طويلة لزمن مؤقت، فقرات محبطة في سجل الحياة صيغت طبقاتها من نسيج غليظ، وتحتشد بفترات وحقب جيولوجية مرت بعصور جليدية، واصطدام بالكويكبات، وثورات للبراكين، ونوبات ثورات للمحيط، وانقراضات جماعية دمرت ٩٠ في المائة من الحياة فوق الأرض، مع كل هذا فلم يحدث ولا ليوم واحد، أو لنانوثانية واحدة أو بيكوثانية أو أتوثانية، أو يوكتوثانية، أن كان العالم خاليًا من قلة قليلة من خلايا في مكان ما، خيط من الحياة، مهما كان مجرد خيط عار إلا أنه يبقى متمسكًا بالحياة في تحد. الحجر الأساسي لنمو هذه الخلايا العنيدة قد يكون مجرد صفحة من جير الأسنان، غشاء من اللعاب والبكتريا، نفاية الأرض، وربما يقال إن الحجر قد يذوي بتأثير مادة ناجعة تمحو خلايا البكتريا، مثل مطهر بيوريل.[4] ولحسن الحظ فإن شيئًا كهذا لا وجود له في تاريخ أرضنا، إذن ألا يسعدك أن صفائح الجير دائمًا تعود ثانية بالحياة؟

نحن نعرف أن كل الخلايا على الأرض ذات أصل واحد، وكلها تنحدر من خلية وحيدة مؤسسة، وليس من خلايا أصل متعددة، أو من أصول

[4] مطهر «بيوريل»: مطهر يُزعم أنه يقتل ٩٩ في المائة من الجراثيم المرضية في أقل من ١٥ ثانية. (المترجم)

عديدة مستقلة، ونحن نعرف ذلك لأن هذا هو ما تخبرنا به وحدة الشفرة الوراثية. يمكننا أيضًا أن نرى ذلك في بنية الخلية، أي خلية، خلية البكتريا، خلية نبات الذرة، خلية ذبابة الفاكهة، أو خلية بشر يترددون على الحانات تردد الذباب على الفاكهة. أينما يكن موقع الخلية، فإن لديها دائمًا جغرافيا لا يمكن إخطاؤها، مجموعة من الملامح المشتركة تفسر السبب في أن الخلية هي الوحدة العامة للحياة، والسبب في أنها تنجح في عملها نجاحًا فوق العادة. دعنا نفكر مرة أخرى في كتالوج صنوف البكتريا المختلفة الذي ناقشناه فيما سبق: البكتريا التي في فمك، وتلك التي في أحشائك، وتلك التي في الجبال، وتلك المحبة للحرارة، هذه الخلايا البكتيرية كلها بأحد المعاني تختلف اختلافًا بالغًا إحداها عن الأخرى، وكل سلالة منها قد مُنحت مجموعة فرعية من جينات التخصص تتيح لها الاستفادة من موارد غريبة كالبنزين أو الزئبق، وأن تتحمل الظروف الخاصة المرهقة في موضعها البيئي. ومن الناحية الأخرى لو أنك شققت أيًّا من هذه الخلايا البكتيرية، فستتحقق من أنها كلها تتماثل جدًّا من الداخل فيما تراه وتحس به من مظهرها واتجاهاتها: ففيها ظروف كيميائية متماثلة، وتتماثل كلها في توازن الحمض بالقاعدة. والوسط الداخلي للخلية البكتيرية يشبه كثيرًا ما في إحدى خلايا كبدنا أو قلبنا، أو أي خلية أخرى في أي كائن حي فوق الأرض. هكذا يتجلى جمال وقدرة الخلية. وكذلك أحد الأمور الهامة التي ساعدتنا البيولوجيا الحديثة على فهمها: وهو أن الخلية تجابه قسوة العالم الخارجي وعدم استقراره بأن تجعل من نفسها الحمى والملاذ. تحوي الخلية كل الأدوات التي تحتاجها للحفاظ على النظام والاستقرار داخل حدودها، ولتبقي ثناياها الداخلية دافئة ورطبة وفي توازن كيميائي. في هذه الأوضاع المتعادلة المتزنة تستطيع قوة العمل الهائلة داخل الخلية من البروتينات والإنزيمات أن تقوم بأشغالها بأكمل أداء، ومن ثم تحافظ على الخلية وهي تنعم بما هي فيه من تناسق لطيف. ليس هناك ما هو طبيعي أكثر من الخلية، وفي نهاية الأمر فإن العالم الطبيعي مليء بالخلايا. الخلية في الوقت نفسه هي النتاج النهائي لبراعة الصنعة، وكأنها سيارة ليموزين مناخها محكوم ولها مقاعد

وثيرة ومنضدة شراب خاصة، وتنطلق في طريقها وسط عاصفة صحراوية مجنونة.

الخلية وحدة الحياة الأساسية، وهي أصغر وحدة من المادة يمكن أن تعتبر حية حسب ما يكتب كل العارفين. الفيروس أيضًا وحدة من المادة تظهر قلة من خصائص ما يشبه الحياة، أهم ما يلحظ منه هو وجود دافع حماسي لنسخ الذات والقدرة على الطفر والتطور، الفيروس كيان لا يزيد عن حزمة من جينات ملفوفة بسترة من جزيئات البروتين والسكر، وهو أصغر حتى كثيرًا من أصغر الخلايا، خلايا البكتريا. ومع ذلك فإن معظم العلماء يجادلون بأن الفيروس ليس حياة حقيقية وإنما هو نمط من حياة أولية، شيء يود لو يكون، نمط من شبه حياة طفيلية تشبه ما يكتب على البطاقات المصمغة من ملاحظات للتذكرة لتلصق على المكتب أو الكمبيوتر، والسبب في نظرة العلماء هكذا إلى الفيروس هو أنه لا يشارك في طقوس جوهرية للحياة مثل الأكل والإخراج، ويعتمد اعتمادًا كليًّا على أجهزة الخلية المضيفة، التي يعديها ويتطفل عليها، من أجل أن تخلق له جسيمات فيروسية جديدة. يحتفظ العلماء بشهادتهم للحياة الأصيلة الحقيقية ليخصوا بها الخلايا، باعتبارها أصغر حزمة للحياة فوق الأرض، وحاملة لأفضل ما يوهب من قدرات.

الخلية تعيش وتتنفس وتتذوق وتصنع نفايات، وعندما يستدعي الأمر فإنها تتناسخ. الخلية مكتفية ذاتيًّا، هذا هو التصور الفكري لجمالها وقدرتها. ولكن ما الذي تكونه الخلية من الوجهة الأكثر عملية، ومن حيث ما يكون فيها من الميكانيكا الحيوية، والحس المتنبئ؟ كيف تعمل الخلية، ما هي أجزاؤها الأساسية، ولماذا تنبني الحياة كلها وهي تعتمد عليها؟ ما الذي تبدو عليه الخلية، ولماذا تصر على أن تكون بالغة الصغر بحيث لا تراها العين المجردة؟ يجب أن أوضح أولًا أن الخلايا ليست كلها ميكروسكوبية. الخلية لها ثلاثة أجزاء أساسية: غشاء خارجي شحمي، مانع محكم للماء، اسمه غشاء البلازما، وهو يعمل كخط الحدود بين الخلية وسائر المجموعة التي تنتظم فيها، الحد بين الذات وغير الذات، وهناك جزء داخلي لزج وهو

السيتوبلازم، حيث يؤدَّى معظم شغل الخلية، ثم خبيئة من الدنا، المحتوى الوارثي للخلية، كتيب إرشادات التشغيل للخلية، وبطاقة السفر إلى الغد. دنا في خلايانا، وخلايا أي كائن متعدد الخلايا وبعض قلة أيضًا من الكائنات وحيدة الخلية، يكون داخل النواة، وهي حجيرة محكمة البناء محاطة بغشاء مماثل لغشاء البلازما الذي يحيط بالخلية كلها، ولكن غشاء النواة أصغر ويتكون من طبقتين، أما في خلايا البكتريا فنجد أن الدنا يسبح حرًّا في السيتوبلازم. ليس مما يثير الدهشة أن اللافتات التي نضعها على النوعين الأساسيين من الخلايا، أي الخلايا ذات النواة الحقيقية والخلايا ذات النواة الكاذبة، هي لافتات توضح خيار طريقة إيواء الدنا الذي يتفق أننا نحوزه. الخلايا التي لها نواة تسمى ذات نواة حقيقية eukaryotic حيث eu تعني «حقيقي» أو «طيب»، وkaryote تعني «نواة». الخلايا البكتيرية وخلايا الكائنات الأخرى الوحيدة الخلية تنقصها النواة، فنسميها ساخرين بأنها ذات نواة كاذبة Prokaryotic، حيث Pro تُنطق كما في Pre وليست Pro كما في Fan of، ومن المؤكد أنها ليست كما في professional (احترافي).° الخلايا ذات النواة الكاذبة، هي خلايا من النمط «السابق للنووي»، نمط الأصول المسكينة التي ظلت تشغل العالم لمليون سنة أو ما يقرب حتى ظهرت الخلايا «الطيبة»، الخلايا ذات النواة. ردت البكتريا تحية المجاملة عن طريق ما تظهره عرضًا من عروض القدرة الاحترافية على التسبب في الإصابة بالأمراض، بمعنى أنها أخذت تسبب أمراضًا بكتيرية مثل الطاعون الدبلي، والجمرة، والزهري، وحميات فترة الطفولة، وبالطبع تسوس الأسنان.

سواء كانت الخلايا لها نواة أو ليس لها نواة، فإنها لا بد أن تتكون من هذه العناصر الثلاثة المحدِّدة، ويتفق أن هناك نمطًا من كيان حيوي يفي بالعناصر المكونة للخلية، وهذا النمط هو البيضة. البيضة لها غشاء خارجي، وسيتوبلازم لزج هو ما نسميه في البيض القابل للأكل بأنه الصفار، ومجموعة من الجينات — عددها فحسب — نصف عدد الجينات اللازمة

°حذلقة لغوية عن طريقة نطق Pro في كلمة prokaryotioc. (المترجم)

لإفراخ فرد من الذرية، ونصف عدد الجينات الموجودة في الخلايا الجسدية الأخرى لحاملة البيضة، ولكنها على أي حال مجموعة جينات. إذن فالبيضة قبل أن تدمج ما بها من الدنا مع مجموعة الجينات التي يمد بها الحيوان المنوي لتبدأ في النمو كجنين، تكون قبل ذلك بيضة من خلية واحدة، وينطبق هذا على تلك البيضة التي لها حجم كاف لأن تراها وتقليها. أجل، سواء صدقت ذلك أو لم تصدقه، فإن بيضة الدجاج غير المخصبة من النوع الذي تشتريه من دكان البقالة هي خلية واحدة، على أننا إذا تحدثنا على وجه الدقة فإن صفار البيضة المرملادي بلونه البهيج هو الذي يتحدد بغشاء البلازما الذي يحيط به، ومن ثم فهو يتأهل هكذا لأن يوصف بالخلية بالمعنى الحقيقي الضيق للكلمة. أما ما يوجد من «بياض البيض أو الزلال» نصف الشفاف الغني بالبروتين والقابل للخفق، فهو والقشرة الخارجية الصلبة المكونة من كربونات الكالسيوم، وكذلك الغشاء الرقيق الزلق الذي يبطن القشرة، كل هذه أغشية إضافية كهدية مجانية تضاف مؤخرًا أثناء الوقت الذي يشق الصفار فيه طريقه أسفل المذرق[٦] أو المخرج المشترك للأم، على أن صفار بيض الدجاج لا يعد مجرد أمر طريف، وهو يستمر دائمًا باقيًا بحجمه الأكبر كثيرًا من نظائره حتى وإن كنا نعاني الحيرة والقلق لما قد يوجد من حكمة في أكل البيض. أكبر بيضة في العالم، ومن ثَم أكبر خلية في العالم هي بيضة النعامة، وتصل مقاييسها لما يقرب من ثماني بوصات مضروبة في خمس بوصات ووزنها بقشرتها الخارجية يقرب من ثلاثة أرطال، أو رطلين بدونها. (من الشيق أن بيضة النعامة هي أيضًا أصغر بيضة طائر بالنسبة إلى حجم الأم، فهي تصل إلى ١ في المائة فقط من كتلة جسد النعامة الأنثى. الطيور الإناث التي تستحق شفقة كل أم هي إناث الكيوي وإناث الطائر الطنان، وهي تضع بيضًا يصل حجمه إلى ٢٥ في المائة من حجمها، بما يكافئ أن تلد امرأة وليدًا يزن ثلاثين رطلًا).

---

[٦] المذرق: فتحة مشتركة للأمعاء وقناة البول والقناة الجنسية، وتوجد في معظم الفقاريات ماعدا الثدييات العليا. (المترجم)

هناك خلايا أخرى في هذا العالم يمكن تقدير حجمها باستخدام العين المجردة. معظم السلالات البكتيرية تكون ميكروبية الحجم بوجه جاسم، بمدى عرض من جزء من المليون من المتر، إلا أن هناك نوعًا من البكتريا المحبة للكبريت اسمه «ثيومارجريتا ناميبينسيس» Thiomargarita namibiensis، وقد اكتشف لأول مرة إزاء ساحل ناميبيا، وله حجم متحدٍّ قدره ملليمتر واحد، أي في حجم نقطة نهاية الجملة التي ستصل إليها الآن. البروتوزوا[٧] اسم يطلق على شعبة بدائية من حيوانات وحيدة الخلية تكون عادة غير مرئية وتتضمن كائنات رئيسية للمعامل مثل الأميبا والبراميسيوم، ويمكن أن نجد أيضًا في هذه الشعبة حفنة من كائنات خوارج من حيث ضخامتها. أكبر البروتوزوا جميعًا هي المُنخربات،[٨] وهي نوع من البروتوزوا يسكن في المحيط وقد تنمو إلى طول البوصتين، وهذه الكائنات الوحيدة الخلية ذات الإنجاز المفرط في الحجم هي مثل بيض الدجاج مغلفة بقشرة خارجية صلبة، هي نسيج للحماية والرعاية مصنوع من بلورات كالسيت[٩] تصنعها كل واحدة من المنخربات لنفسها.

إلا أن هذه الخلايا الكبيرة الماكروبية هي الاستثناء، والقدر الأعظم من الكتلة الحيوية للعالم مصنوع من خلايا بحجم ضئيل كالهباء. خلايانا، وخلايا الفيل، وخلايا أكبر الحيوانات التي وجدت على سطح الأرض على الإطلاق — أنثى الحوت الأزرق — كلها خلايا ضئيلة الحجم، يبلغ عرضها في المتوسط ١ / ٢٥٠٠ من البوصة. هل هناك شيء بالغ الأهمية في أن تكون هذه الخلايا بالغة الصغر هكذا، وما هو هذا الشيء؟ سألت في ذلك الكثيرين من البيولوجيين الذين أجريت لقاءات معهم، لماذا الخلايا؟ لماذا تُبنى الأجساد، بصرف النظر عما قُدر لها من كبر حجمها، من أجزاء أضأل كثيرًا من أن ترى؟ لماذا ينبغي ألا تُصنع مما يبدو أننا صنعنا منه، صفحات كبيرة من مادة موحدة، من طبقات أنسجة توضع الطبقة منها فوق الأخرى؟!

---

[٧] البروتوزوا: حيوانات مجهرية وحيدة الخلية، وهي أقل وأبسط الحيوانات وتتكاثر بالانقسام. (المترجم)
[٨] المنخربات: حيوانات دنيا بحرية بأصداف مثقبة. (المترجم)
[٩] الكالسيت: كربونات كالسيوم متبلورة، وهي أساس الحجر الجيري أو الطباشير أو الرخام. (المترجم)

قالت لي سينثيا ولبرجر التي تعمل في جامعة جونز هوبكنز إن الشيء الصغير يعني أنه شيء محكوم. الشيء الصغير قابل للتعامل معه. الشيء الصغير مرن. الخلية لها درع يحميها من بيئتها ومن ثَم تستطيع أن تتحكم فيما يحدث بداخلها بطريقة لا تستطيع بها التحكم في العالم من خارجها. كلما قل الحيز الذي يلزم الإشراف عليه كان التحكم فيه أشد قوة وإحكامًا وفعالية.

تعلمت الشركات هذا الدرس المرة بعد المرة، درس تأصيل الحيوية والنشاط والمرونة في فريق العمل الصغير بنسيجه المحكم وما له من شبه الاستقلال الذاتي. ما دامت الأجزاء الخاضعة لنفوذك الفردي تبقى مدموجة ومحددة فإن شركتك تستطيع الحفاظ على براعة داود ودهائه[١٠] حتى عندما تتخذ لنفسها قوة قبضة الشركات المتعددة الجنسيات التي تشبه قبضة العملاق جالوت. من الواضح أننا نحن ذوو الخلايا المتعددة نستطيع أيضًا أن ننمو إلى حجم هائل، ونبقى طول الوقت فطنين ومحميين بيوكيميائيًّا من أهواء عالمنا المتقلب، وذلك لأننا بُنينا من أجزاء متواضعة يمكن التحكم فيها.

تقول ولبرجر إن أحسن طريقة لفهم مزايا صغر حجم الخلية هي أن نلقي نظرة سريعة على الداخل منها. ولا بد من أن يقال هنا إن الصورة تغدو إلى حد ما قبيحة. سألت ولبرجر ماذا ستبدو عليه الخلية لو نفخت إلى حجم شيء يوضع فوق المكتب كإحدى الكماليات الطريفة.

وبدون أي تردد ولو للحظة أجابتني في مرح: «ستبدو وكأنها بصقة بلغم.»

بلغم؟

قالت: «نعم، الخلايا لزجة ودبقة تمامًا. إننا نجري تجارب كثيرة في أدوات المعمل الزجاجية، في أنبوبة الاختبار، عازلين عناصر الخلية فيما هو أساسًا كأس ماء وملح ومحلول منظِّم[١١] كيميائي. أنا أحب أن أذكّر طلبتي

---

[١٠] إشارة لقصة النبي داود الذي هزم العملاق جالوت بالحيلة. (المترجم)

[١١] المحلول المنظم: محلول إذا أضيفت له كميات صغيرة من الأحماض أو القواعد لا تتغير قيمة الأس الهيدروجيني فيه إلا بمقدار طفيف، فيظل محتفظًا بدرجة حموضته أو قلويته الأصلية. (المترجم)

عندها، بأن ما يحدث في الخلية الحية في ظروفها الواقعية هو أن الأشياء يكون قوامها أغلظ وأكثر لزوجة من ذلك، فعندها تكون أكثر شبهًا بالبلغم.»

لدينا فوق هذه الصورة التي تفقد الشهية، الغلظة المحبطة للمصطلحات التي تُسمَّى بها الخلية وأجزاؤها. قد يكون الواحد منا المالك الفخور لخلايا يبلغ عددها ٧٤ ترليون خلية، ولكن رطانة بيولوجيا الخلية يمكن أن تجعلك تشعر وكأنك أجنبي لا يملك بطاقة الإقامة الخضراء في الولايات المتحدة أو لا يملك خريطة للمدينة. لو أنك اخترقت حدود غشاء البلازما فستسمع عجبًا، سوف تصطدم بمصطلح «الشبكة الإندوبلازمية» الخشنة، سلسلة من أكياس مسطحة حيث تُصنع البروتينات، أو أنك ستجد أنك تدتك بجهاز «جولجي»، وهو تكديس آخر لأكياس مسطحة حيث تُختزن البروتينات أو تُعدَّل كيميائيًّا حسب الحاجة، أو أنك تظل تتخبط وتتخبط عبر حويصلات تسمى «بالليسوسومات»، و«الريبوسومات»، و«الميتوكوندريا». بل حتى المصطلح الذي يتخذ كمظلة تغطي الكثير من البنى الصغيرة للخلية، مصطلح «العضيات»، يبدو مصطلحًا متطفلًا لا ضرورة له.

لا علينا من ذلك. دعنا لا نخاف من لزوجة الخلية الحية ولا من أبهة وفخامة ألفاظ المصطلحات. عالم الخلية في الحقيقة لا يختلف كثيرًا عن عالمنا. قد تكون الخلايا صغيرة، وحجمها عند المنتصف تقريبًا بين حجم الإنسان البالغ وحجم إحدى الذرات، ولكن سلوكها يتبع الخطوط الكلاسيكية لفيزياء نيوتن للحياة اليومية بما فيها من «دفع لي وشد لك» أكثر مما يتبع القواعد الاحتمالية غير الواضحة لميكانيكا الكم، حيث تختفي الإلكترونات من أحد مساراتها في مدار لتتواثب فتظهر في مسار لمدار آخر. سنجد أنه حتى أضأل الخلايا لها شكلها المنتظم بأبعاد ثلاثية مكتملة، ومع أن الشكل الأساسي للخلية قد ينحو إلى أن يشبه قطرات تساقطت، ولتكن مثلًا قطرات تتساقط من «مصباح حمم»[١٢] إلا أن الخلايا المتخصصة قد تتخذ أشكالًا تخصصية رائعة. عندما نرى خلايا الجلد من خلال الميكروسكوب ستبدو مثل صحاف

[١٢] مصباح الحمم: نوع من مصباح ساقه زجاجية وتحوي شمعًا وسوائل ملونة، وعند إضاءته تسخن محتويات الساق ببطء وتتصاعد السوائل الملونة إلى القمة ثم تبرد وتهبط ثانية. (المترجم)

عشاء مجهزة لتكديس الطعام، وتبدو خلايا الدم الحمراء مثل أقراص خبز اليهود بمحلات بياليس في نيويورك، وتبدو خلايا الكبد كصناديق الأحذية وقد صفت على جوانبها. خلايا الجسد تبقى طبيعيًّا ملازمة لمكانها وتطيع الأوامر التي تنقلها إشارات كيميائية تحيط بها آتية من العضو الذي تكون الخلايا جزءًا منه، ولكن الخلايا كلها أساسًا عنيفة متقلبة مثل القطط. إذا قطعت خلايا قليلة من عضو كالكلية، أو القلب، أو اللسان، ثم وضعتها في طبق تزريع بالمعمل ومعها طبقة حساء رقيقة والمواد المغذية المناسبة، ستبدأ الخلايا في الزحف وكأنها وحوش حيوانات لها هيمنة، مخلوقات من قاع البحر في أحقاب ما قبل الكمبري. عندما تراقب الخلايا من خلال الميكروسكوب سترى كيف تدفع حوافها إلى الخارج بشدة وكأنها أجنحة خفاش أو زعانف سمكة ضخمة من عائلة كلاب البحر، وسترى كيف تشد الخلايا نفسها قدمًا بحثًا عن مزيد من الطعام، ثم تنكمش وترتد وراء عندما تلمسها خلية جوالة أخرى. الخلايا بالغة القوة حتى ليعجب المرء من أن أصحابها يمكن بأي حال أن يشعروا بأنهم ضعفاء. تشتهر حشرات النمل بأنها حمالة أثقال، وتستطيع أن تحمل أثقالًا تصل إلى عشرة أمثال أو عشرين مثلًا لحجمها، على أن الخلايا كما يصرح سكوت فريزر عالم الهندسة الحيوية في كالتك، تفوق النمل بدرجة واحدة على الأقل. أجريت دراسات باستخدام ملاقط ليزر مع خرز بلاستيكي لاستكشاف الطريقة التي ترسل الخلايا بها الإشارات إحداها إلى الأخرى، ووُجد في هذه الدراسات أن الخلية في طبق الاستزراع تتشبث بالخرز بأن تلف بعضًا من غشاء البلازما عندها حول الخرزة، ثم تجذبها لتتحرر من الملقط، وهذا فعل لا يختلف عن اقتلاع الإنسان لإحدى الأشجار.

الخلايا هي وحدة الحياة، وهي تعتز بها، وتنبض بها في كل موقف وموضع. الوحدات ذات الأهمية القصوى داخل وحدات الحياة هذه، أو الجزيئات التي تقوم بكل عمل الخلية: الحركة، والاهتزاز، والانتزاع، والأكل، والإخراج، وتصنع ما هو جديد من أدوات التحريك والهز من كل نوع، الجزيئات التي تقوم بكل هذا هي البروتينات. فهم الخلية يعني أن

نفهم البروتينات، وهذا يأتي بنا إلى نقطة صغيرة اعترف لي الكثيرون من البيولوجيين بأنهم يجدونها دائمًا محبطة، وهي أن الجمهور لديه نظرة ضيقة عما يكونه البروتين. ستيفن مايو أستاذ في معهد كالتك يدير معملًا في المركز العام للعلوم البيولوجية، وهو أحد أحدث الأبنية في حرم المعهد وأحد الأبنية القليلة التي لديها نظام أمن بارع لمنع سرقة جهاز أو آخر ثمن الواحد منها ١٠٠٠٠٠ دولار. مايو شاب طويل أنيق يرتدي ملابس قطنية مجعدة وقميصًا مخططًا حاكه له خياط، وهو يشمر أكمامه إلى أعلى. مكتب مايو واسع، مليء بالشمس، ومترف في تجهيزه، بما هو مفهوم، كانعكاس للإمكانات الاقتصادية الواسعة التي يُعتقد أن بحثه في الطب الحيوي ينالها. يحاول مايو أن يضع تصميمًا لبروتينات جديدة يمكن لها بدورها أن تُدمَج في أدوية جديدة. يحضر مايو أحيانًا احتفالات مناسبات اجتماعية أو يستضيفها، ويكون معه في ذلك زوجته، وهي متطوعة مع «عصبة الشباب» للإصلاح الاجتماعي، ويقابل مايو في هذه الاحتفالات أفرادًا من كل أنواع المهن. ويقول: «عندما يسألونني ما هو عملك الذي تتعيش منه؟ فإني آخذ نفسًا عميقًا وأقول لهم إني أدير معملًا في إحدى الجامعات وإننا نعمل على البروتينات. فيقولون: آه، أنت متخصص إذن في التغذية؟ عندما يسمع الناس كلمة بروتين يكون أول ما يخطر على بالهم هو الهامبورجر.» ويشرح لهم مايو أن الأمر ليس هكذا، وإنما هو يحاول أن ينشئ تكنولوجيا للكمبيوتر لتصميم بروتينات جديدة، جزيئات بيولوجية جديدة لاستخدامها في منتجات طبية ودوائية. ويقول مايو: «ولكني أستطيع طول الوقت أن أرى أنهم في الخلف من عقلهم لا يزالون يفكرون في الهامبورجر. وهم يتساءلون في تعجب، ما هو العيب في الهامبورجر الذي سيقدم حالًا لي؟»

هناك علاقة بالطبع بين البروتين في الهامبورجر، والبروتينات التي كرس أفراد فريق مايو أنفسهم لها. عندما نأكل لحمًا، فإننا نأكل خلايا، والخلايا مليئة بالبروتينات. عندما تأكل قَنَّبِيط البروكلي، فأنت عندها تأكل أيضًا خلايا مليئة بالبروتينات. تحتاج أجسامنا إلى مدد ثابت من البروتين في الطعام لبناء الخلايا الجديدة، وترميم الخلايا التالفة، ولسد النقص في

الجهاز المناعي، وغير ذلك مما يلزم للإبقاء على إمداد كل الأجزاء بالطاقة. السبب في أن الهامبورجر يرتبط بالمصطلح التصنيفي للبروتين على نحو أسهل كثيرًا من قَنَّبِيط البروكلي المطهي بالبخار هو أن البروتين الحيواني المصنوع من خلايا العضلات، يكون مصدرًا أغزر للبروتين كما أن البروتين الحيواني أقرب شبهًا ببروتيناتنا، ومن ثم يكون من الأسرع والأسهل أن نحصل على مكونات البروتين الضرورية لصيانة لحمنا بأن نلتهم لحم حيوان آخر بدلًا من أن نمد يدنا لالتقاط ثمرة خوخ، هذا مع أن أي فرد نباتي يمكن أن يشهد بمدى ما للمملكة النباتية من سعة وتنوع، وأننا نستطيع مع قدر معقول من الاهتمام بالتفاصيل الغذائية أن نراكم معًا كل البروتين الذي نحتاجه من مكان ما أسفل ظلة مملكة النباتات الخضراء.

أيًّا كان مصدر البروتينات الغذائية، فهي أشياء متبلدة لا حياة فيها، وهي طريقة بائسة غائمة لرؤية البروتينات التي يتحدث عنها مايو وغيره من البيولوجيين. وفي نهاية الأمر، ما الذي تفعله المعدة إلا أنها تمزق أي بروتين تتلقاه ليغدو في أصغر قطع ممكنة، بحيث تزيل عنه أي نشاط وقدسية «وتغير طبيعته» الأصلية كما يعبر عن ذلك أي كيميائي بروتينات. فهذه هي مهمة المعدة، أن تسوي الوجبة حتى يمكن جرفها لصنع قطع غيار. هيا نربت على شريحة اللحم التي سيكون منها البديل لجزيئات البروتين. على أن البروتينات أهم كثيرًا من أن تكون مجرد لحم ميت.

ماذا يكون البروتين إذن في حالته الطبيعية، في مسرحه الملائم بالخلية؟ البروتين من وجهة النظر التقنية خيط من الأحماض الأمينية، تجمعات متمايزة تُصنع أساسًا من العناصر التي ترتبط أقوى الارتباط بالحياة: الكربون، والأوكسجين، والهيدروجين، والنيتروجين، وقد رصت هذه العناصر بأسلوب يجعل لكل حمض أميني نتوءًا صغيرًا له شحنة موجبة ونتوءًا صغيرًا له شحنة سالبة. هذه الخاصية من الثنائية القطبية للجزيء بأن يحمل شحنات ثنائية، تجعل الأحماض الأمينية مواد مثالية للترابط معًا في تكوينات لبنى متنوعة تنوعًا هائلًا، تمامًا مثل دور الثقوب والأوتاد في قطع لعبة «الليجو» البنائية، التي تتيح تشبيك القطع في نماذج لجسور متحركة،

أو نماذج لعبة العجلة الدوارة في الملاهي، أو الديناصورات وغير ذلك من العجائب المعروضة على غطاء صندوق لعبة الليجو، إن لم تكن معروضة فوق أرضية غرفة معيشتك. الأحماض الأمينية إما أن تركبها الخلايا ابتداء من أول الخطوات لذلك أو أنها تستخلصها من الطعام، ثم تربط الخلايا هذه الوحدات الفرعية الكيميائية معًا لتشكل إمدادًا جديدًا من البروتين. تختلف هذه البروتينات في حجمها إلى حد له اعتباره، بدءًا من وحدات بالغة الصغر تسمى الببتيدات يصل طولها إلى ما يقرب من عشرين حمضًا أمينيًّا، ووصولًا إلى سلاسل فعالة تلتف وتنقلب وتتكون من آلاف عديدة من الأحماض الأمينية. دعنا نتذكر أن مصطلحي «صغير» و«كبير» مصطلحان نسبيان، وأنه حتى أضخم البروتينات ربما سيبقى حجمه في حدود جزء من مائة ألف من حجم حبة السمسم.

يعد شكل البروتين أهم بكثير من حجمه، كيف تنطوي سلسلة الأحماض الأمينية فيه، وتتجعد، وتتغضن، وتنعطف بحدة في حيز من ثلاثة أبعاد. كثيرًا ما توصف البروتينات بأنها «ماكينات» صغيرة في الخلية، إلا أن هذا المصطلح الصناعي الذي يجعلها وكأنها في شكل صندوقي يتناقض مع خطوط منحنياتها التي تماثل انحناءات المثال المشهور جين آرب، وبروزات جسد فتيات الإعلانات عن شامبو «بريك». لو أمكنك أن ترقب البروتينات وهي تتواثب عبر سطح مكتبك فقد تبدو لك وكأنها مجموعة استثنائية أنيقة من كرات «نيرف» الرغوية الإسفنجية أو حيوانات من صنع فناني التشكيل اليابانيين صنعت من زبد وصلصال. مع أن البروتينات لها أكثر من قوام أساسي لنسيجها، فإنك لو استطعت أن تلمس بروتينًا عاديًّا، وتضغط عليه بإصبع السبابة، فستشعر أن قوامه ينسجم مع موقعه الخلوي، فهو لزج ومخاطي في أعلاه، إلا أن له صلابة ومتانة حاسمة من أسفل. ليس هناك أي سذاجة أو سخافة بشأن ما للبروتين من القوام هكذا، وليس هناك أي تهور أو تسرع بشأن شكله، ذلك أن وظيفة البروتين تترتب على شكله. المواصفات المحددة لشكل أحد البروتينات، وطريقة توزيع الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة بطول الخطوط الكونتورية المحيطة به، هي ما

يتيح لكل بروتين أن ينفذ المهام المخصصة له. قد يكون لدى الخلية الواحدة ٥٠٠٠٠ من مختلف البروتينات داخل حدودها، بعضها له حزوز عميقة وأخرى لها تفرعات بالغة الصغر تندفع بارزة وكأنها إشارة النصر بحرف V، ثم هناك لدى البعض منها شرائط تنساب منتشرة صُممت لتلتف حول أي جزيء مستهدف في عناق لولبي، أو يكون هناك مزيج من هذه وغيرها من التسلسلات الجزيئية المتكررة. معظم البروتينات يكون لها أجزاؤها الصلبة الثابتة وأجزاؤها المرنة، مناطق تظل نسبيًّا ثابتة خلال كل حياة البروتين، وأجزاء تستجيب للنخس من الجزيئات المجاورة وتغير من شكلها وتبدل من مهامها حسب ذلك. إنها دائمًا تدور وتدور وتدور. البروتينات تحيا لتعمل، وهي تحيا في مكان يشبه كثيرًا مانهاتن، مدينة تعج بالحشود ولا تنام أبدًا، حيث كل ما يهم هو كيف يبدو مظهرك، وما الذي تفعله.

ما هي الأفعال التي تؤديها البروتينات وتكون مشغولة بها على هذا النحو المذهل؟ البروتينات في معظمها إنزيمات، أي بروتينات تساعد في تنشيط التفاعلات الكيميائية في الخلية أو في تسارعها بأن تقرب معًا مواد التفاعل التي ربما بغير ذلك تظل متباعدة منفصلة، أو أن هذه الإنزيمات تغير شكل بروتينات أخرى ومن ثم تحثها على أن تغامر فتبرز لتشعل الزناد لتفاعل كيميائي. تُصمَّم البنية المتميزة للإنزيم لتتلاءم ببراعة مع جزيء واحد لا غير مستهدف في الخلية أو ربما مع حفنة من الجزيئات المستهدفة، وذلك بالطريقة نفسها التي يلائم بها تليفونك المحمول جهازه الرسمي وحده المخصص لإعادة شحنه وليس جهاز والديك أو زوجتك أو أي شخص آخر يوجد في منطقة الرقم البريدي الخاصة بك. يقترن الإنزيم مع هدفه أو المادة التي تخضع لفعله، وبمجرد أن يحدث ذلك، يتمكن الإنزيم من تنفيذ مهمته التحويلية الخاصة. مثال ذلك أن هناك إنزيمات في خلايا الكبد شُكلت لتتعرف على حلقات جزيء الكولسترول، وهي عندما تمسك بإحدى هذه الدوائر الصغيرة الزلقة، سرعان ما تساعد على حياكتها لتشكل الهرمونات الضرورية للجنس مثل التستو ستيرون للذكور والإستروجين للإناث. هناك إنزيمات أخرى في الكبد تربط معًا أملاحًا وأحماضًا، مع الكولستيرول

والدهنيات والأصباغ لتشكل ذلك السائل المخمر الهضمي ذا الطعم المر واللون الأصفر المائل إلى البني الذي يسمى «الصفراء». ثم هناك إنزيم في الكبد، لحفظ ماء الوجه، اسمه ديهيدروجينيز الكحول (مزيل الهيدروجين من الكحول)، وهو يساعد على تحليل جزيئات الكحول الموجودة في شرابك الممزوج لتتحول إلى أجزاء أصغر غير سامة وذلك قبل أن تسنح لك الفرصة لأن تصاب بالإغماء، أو أن تأخذ في تقمص شخصية «بيجي لي» المغنية الممثلة المتعددة المواهب.

على أن هذا يا صديقي ليس كل ما يوجد هنالك حتى نظل باقين في حلبة الرقص. الإنزيمات في خلايا الدم البيضاء تستطيع أن تذيب أغشية الفيروسات، الإنزيمات في خلايا بنكرياسنا تساعد كالشرطة في ضبط كمية السكر التي تدور في دمائنا، الإنزيمات في خلايا الأعصاب تصنع الإشارات الكيميائية التي تتدفق خلال المخ وتتيح لنا أن نفكر ونشعر، ونؤدي أفعالًا، ونندم على أداء هذه الأشياء بدلًا من أشياء أخرى، ونلجأ إلى ملء وصفات طبية من دواء «إفيكسور» لعلاج الأمراض النفسية.

إلى جانب هذه الإنزيمات ذات المفعول المباشر، هناك بروتينات بنيوية تكون نسيج الخيوط الداعم للخلية واسمه الهيكل الخلوي. البروتينات البنيوية هي مثل العظام، تعطي للخلية شكلها وتكاملها، وهي مثل نسيج العظم ليست مطلقًا خاملة، فهي في الحقيقة جد نشطة ومتلهفة لأن تعرض متباهية قدراتها حتى إن المرء ربما يظن أنها تنتمي إلى أشكال الهياكل العظمية الرمزية التي يحاول البعض أن يحتفظ بها في دورة مياهه. يعد الأكتين Actin الأكثر شهرة بين البروتينات البنيوية، وهو موجود في كل الخلايا ذات النواة الحقيقية، وهو جزيء متعدد الوظائف لا يعمل كمادة دعم بروافد وعوارض للخلية فحسب، وإنما يشتغل أيضًا في مجهود للنقل، فيتحرك ذهابًا وإيابًا لينقل بروتينات خلوية أخرى من مكان إلى آخر، أو يساعد في أن يسوق النفايات خارج الخلية ويلقي بها في تيار الدم، أو هو يضع كل شيء في مكانه أثناء مناورة هي أرهف وأعقد المناورات الخلوية، عندما تنقسم الخلية إلى خليتين. يتعاون الأكتين في خلايا العضلات مع

بروتين بنيوي آخر هو «الميوسين»، وذلك لشد خلايا العضلة أثناء حركة الانقباض مثل ثني العضلة ذات الرأسين في العضد أو لضغط مضغة طعام أسفل الحلقوم، أو لإرخاء ليفة العضلة عندما تُنَفّذ عملية الثني أو البلع.

البروتينات البنيوية قد يكون لها نشاط صاخب وتتدخل في شئون الغير مثل أي مما تذكره الكتب الدراسية عن إنزيمات الجسم التي تؤدي عروضًا من الألعاب النارية أو التفاعلات، ولهذا السبب فإن بعض العلماء يجادلون بأن البروتينات كلها إنما هي إنزيمات، فهي محركات التغير والحياة والتحولات. كلمة enzyme تعني «تخمر» وهذه المادة تحية إتيمولوجية[١٣] لبروتينات الخميرة التي تخمر الخبز والنبيذ، أو تخمرك أنت. من المعتقد أن كلمة l'chaim أو النخب بالعبرية تتشارك أيضًا في الجذور الإتيمولوجية مع مقطع zyme (زيم)، وl'chaim هو النخب العبري الذي يذكر للتحية في أحد الأعياد مع مشروب كحولي من اختيار من يلقي النخب، والكلمة تعني ببساطة أن النخب «للحياة».

الخلية إذن تعج بالبروتينات والإنزيمات والحياة. وكما يقول توم مانياتيس عالم البيولوجيا في جامعة هارفارد، لو أننا استطعنا أن نزيل غشاء الخلية لنلقي نظرة داخلها فسيبدو الأمر وكأننا ننظر داخل كومة لعش نمل أو داخل خلية نحل، ولكن العمل هنا يجري بسرعة أكبر كثيرًا، «سيكون هناك نشاط محموم مع حركة للأشياء في كل اتجاه، ونقل للجزيئات من مكان إلى آخر بسرعة البرق.» دعنا نتصور أيضًا حركات أشياء تمرق كالسهم من خلال فتحات أبواب، وعمليات هائلة هادئة من الامتصاص، واختفاء أشياء تتبدد في الهواء. الأغشية التي تطوق الخلية والنواة مليئة بالمسام والقنوات التي تنفتح وتنغلق، وتدخل جزيئات وتفر جزيئات، يوجد في كل مكان من السيتوبلازم أكياس صغيرة كالفقاقيع تسمى الحويصلات تتلمس الطريق عبر سكك الخلية الحديدية المصنوعة من الأكتين، وتقترب من الجزيئات وتتعامل معها وكأنها تقيدها بقمصانها المحكمة كقمصان تقييد

[١٣] الإتيمولوجيا: علم اشتقاق الكلمات ونشأتها. (المترجم)

المجانين، وتأخذها إلى موضع جديد حيث تلفظها هناك، ثم نجد أكياسًا أخرى أكثر ترويعًا اسمها الليسوسومات أو إنزيمات التحليل، إنها المَعِدات الهاضمة الصغيرة للخلية، مليئة بأحماض لاذعة تدمر أي نفايات خلوية تمتصها داخلها. هناك أيضًا في هذه الورشة اللاهثة التي لا تتوقف عن العمل، أو في خلية النحل هذه الفائقة النشاط، بروتينات كثيرة تتنقل متجمعة في عصابات، في شكل بِنًى منتفخة تتركب من ثلاثة أو ستة إنزيمات أو اثني عشر إنزيمًا بشتى القدرات وقد ثُبتت معًا عن طريق تكاملها البنيوي، ذلك التشابك السعيد بين النتوءات والشقوق، بين الشحنات الموجبة والسالبة. حتى وقت قريب جدًّا كان البيولوجيون يميلون إلى التفكير في البروتينات كأفراد معزولة، كأنها تنتمي بتعصب إلى مذهب الفردية، جماعة من أفراد متفردة أو جزيئات مستقلة مفردة في الخلية تؤدي مهامها بنزعة فكرية أحادية. إلا أنه ظهر في السنوات القليلة الأخيرة اتجاه رئيسي فيه نفاذ بصيرة، وهو اتجاه كلما زادت دراساتنا في الثنايا الحية للخلية تعاظمت أهميته باستمرار، ويبين هذا الاتجاه الجديد أن معظم البروتينات تعمل معًا كأفراد فريق من بروتينات عديدة، وأن نتيجة تجميع قدراتها قد تختلف اختلافًا جذريًّا عما قد يتنبأ به المرء عندما ينظر إلى خواصها كإنزيمات مستقلة أحدها عن الآخر، إضافة لذلك فإن التحالفات بين البروتين والبروتين فيها سيولة وإمكان للتبادلات؛ فقد يُدخل أحد البروتينات نفسه في أحد التجمعات البروتينية في لحظة ما ثم لا يلبث أن ينفصل بعيدًا عنها ويضم قواه مع مجموعة بروتينات أخرى في اللحظة التالية، ثم ينضم إلى مجموعة جديدة بعدها بقليل من الثواني أو الدقائق أو الأيام، وينفذ بذلك مهمات إنزيمية مختلفة مع كل اتحاد ينضم إليه. ما من موضع يتضح فيه مدى تعاون البروتينات أكثر مما يتضح في الشئون العائلية: إنجاب البروتينات وإنشاء جمهورية لها تقيم فيها، تلك الجمهورية المشغولة بنشاط لا يكل، وتكون أحيانا قابلة للانقسام.

كما قال توم مانياتيس فإنك إذا استطعت أن تنزع الغطاء عن خلية ذات نواة حقيقية فسترى نشاطًا محمومًا، حان الوقت الآن لأن نلج من

خلال باب النواة، إلى قاعة الألعاب التي يجري فيها أشد ما يعرف من ألعاب هوجاء صعبة المراس.

يشتهر الدنا بين الجميع بأنه من الجزيئات الضخمة، كما أنه ولا ريب يتخذ أسماء مستعارة كثيرة. دنانا هو جيناتنا، تلك الأشياء التي نرث نصفها من الأم ونصفها من الأب، والتي نتسرع فنلقي اللوم عليها كسبب لتلف أسناننا، أو عدم قدرتنا على فرز الغسيل الفاتح اللون من الغامق.[١٤] دنانا هو كروموسوماتنا، أو كروموسومات طفلنا، تلك الأجسام التي يبلغ عددها ثلاثة وعشرين زوجًا وتشبه قطع السجق الصغيرة، والتي تتثنى وتنحني في حركات أكروباتية مثل الرسوم الكارتونية لكيث هارنج. نحن نجري اختبارات لعينات الكروموسومات التي تؤخذ من سائل البزل النخطي أو الأمنيوسي قبل الولادة، فتُصبغ ثم يُجري مسح لها في النهاية بحثًا عن أي علامات لوجود ما يؤدي إلى المتاعب كأن يوجد فيها كسر، أو نقص، أو تضاعف. يعرف الدنا البشري أيضًا بأنه الجينوم البشري، النجم صاحب الاسم المثيل «مشروع الجينوم البشري»، ذلك الجهد الذي تعددت الدول المشتركة فيه وتعددت البلايين التي أنفقت عليه من أجل «رسم خريطة وتحديد تتابعات» كل الشفرة الوراثية البشرية، وتحديد كل حرف من ثلاثة بلايين حرف كيميائي يتكون منها الدنا البشري. يصل تمجيد الدنا إلى ما يقرب من العبادة، فهو الكأس المقدس الذي حُوِّل إلى عجل ذهبي، وتوجد الآن في مقابله مشكلة البروتين. ويُنظر إلى البروتين على أنه مجرد أحد العناصر المكونة للّحم، فإن الشعور السائد هو أن الدنا أرفع مقامًا بكثير من أشياء الحياة اليومية، وأنه أكبر كثيرًا أو أخطر كثيرًا من أن يؤكل. كيف يمكننا بغير ذلك أن نفسر سوء الفهم الشائع بأن منتجات البقالة التي فيها أي جينات هي فقط الأغذية «المعدلة وراثيًّا»، أو أن نفسر جهود بعض أصحاب المطاعم للإعلان عن رفضهم للأغذية المعدلة وراثيًّا في مطابخهم، وذلك بأن يعرضوا في قوائم طعامهم صورة اللولب المزدوج للدنا وقد شطبت بخطوط حمراء من فوقها؟

---

[١٤] إشارة إلى أن حالات عمى الألوان حالات وراثية. (المترجم)

إلا أنك بالطبع، ودون أدنى احتمال لا تفكر قط في ذلك، تأكل الدنا طول الوقت، حتى لو كان طعامك يحمل شهادة بأنه طعام عضوي، يُنتج فقط بالوسائل التقليدية للتعديل الوراثي — أي بالتربية الانتخابية للنبات، والتهجين وتقنيات التربية العلمية للحيوانات الداجنة التي ظل البشر يستخدمونها طول الآلاف العشرة من السنين الماضية — ومع ذلك فهو يعطي لهذا الطعام ضمانًا بخلوه من الأساليب المشبوهة المعاصرة لأغذية فرانكنشتين، وهي أغذية ربما أدخلت فيها جينات خاصة لتضفي على المحصول مقاومته مثلًا للصقيع أو العفن. بل حتى وأنت تأكل طعامًا عضويًّا، فإنك تبتلع عندها يوميًّا بلايين من الجينات صُفت بطول بلايين من جزيئات الدنا. إذا أكلت شريحة لحم فإنك تأكل شريحة من عضل البقر، تتألف من ملايين من خلايا البقر، وهذه الخلايا مليئة بالبروتينات، كم وفير من الميوسين والأكتين، غشاء البلازما الذي يحيط بكل خلية هو وغشاء النواة الأصغر منه داخل الخلية كلاهما فقاقيع من الكولسترول، ويوجد وسط كل نواة في خلية بقرة جزيئات الدنا، المجموعة الكاملة من جينات البقرة وقد توزعت فوق ثلاثين زوجًا من كروموسومات البقرة التي تكوّن جينومها. كل خلية للبقرة يوجد فيها جينوم متوج يمكن أن تُنمَّى منه بقرة جديدة بالكامل تُستنسخ من بقرة واهبة، أي أنها بقرة منسوخة مثل النعجة دوللي، وهذا يعطي معنى جديدًا للزعم بأنك وأنت جائع للغاية تستطيع أن «تأكل بقرة». أنت تأكل الدنا في البطاطس، وجينومات الفول، وكروموسومات الطماطم، عندما يكون طعامك متنوعًا على نحو صحي، تكون قد التهمت خلال حياتك شفرات هي المصدر لآلاف من الأنواع. الجينومات ليست فحسب قوام المشاريع ذات التكلفة العالية والمفاهيم الراقية. فهي قوام المادة المحتشدة في كل خلايا جسدنا، النسخ غير المختصرة لجزيء الدنا الذي أورثنا إياها والدانا كل واحد له النصف في لحظة الحمل بنا، نسخ تعمل الخلايا المتكاثرة بنشاط — أثناء تنامي الجنين — على نسخها متكررة وتسليمها لكل خلية ابنة، وهي نسخ لا تزال خلايانا البالغة تحتفظ بها ولا تزال تنسخها بوقار في كل مرة تنقسم فيها هذه الخلايا. الخلايا الوحيدة

التي تخلو من الدنا هي خلايا الدم الحمراء التي تدور في الدورة الدموية، تلك الخلايا التي تخصصت في نقل الأوكسجين لكل الجسم. تنشأ الخلايا الحمراء داخل نخاع العظم من خلايا سلف لها يوجد في داخلها بالفعل جزيء الدنا، ولكنها في آخر مرحلة من نضجها، عندما تصبح جاهزة لتعمل كوسيلة تتنفس بها الحياة، عندما تعمل كرسل من الرئة إلى كل خلية لدينا مهما بعد مكانها، عندها تلفظ الخلايا الحمراء نواتها وجزيء دناها لتفسح حيزًا واسعًا لنشاط بروتينات الهيموجولبين التي تقيم داخل هذه الخلايا، وهذه البروتينات هي الجزيئات التي تأسر الأوكسجين.

لعل فيما ذكرناه النقطة الرئيسية في قصة الدنا: أننا يمكن أن نجد في كل خلية تقريبًا في جسدنا نسخة شخصية من جزيء الدنا كله، فيها كل معلوماتنا الوراثية، وكل أزواج الكروموسومات الثلاثة والعشرين، وكل جيناتنا، وكل الحشوات الطويلة التي تملأ المسافات بين الجينات، وكل البلايين الثلاثة من الأجزاء التي يتألف منها صميم جينومنا البشري نفسه. ربما لا يكون ذلك هو الجينوم البشري، الجينوم الذي أنهى العلماء إلى حد بعيد إنجاز خريطته وتحديد تتابعاته؛ تتأسس الخريطة الرسمية للجينوم على خلاصة وافية لعينات أخذت من حفنة من الأفراد، بما في ذلك بعض المرضى في دراسات طويلة مهمة للوراثيات، وعينات من عالمين اثنين لديهما منذ زمن طويل حس بأهميتهما الذاتية. إلا أن جينوماتنا البشرية الخاصة بنا، تلك الجينومات المتواضعة المطوية داخل النواة في كل خلايانا تقريبًا، تماثل إلى حد بعيد الجينوم البشري العظيم الذي جرى توضيحه في بنوك البيانات للمعاهد القومية للصحة وغيرها من مراكز البحث. نحن أفراد البشر نتطابق وراثيًا أحدنا مع الآخر بنسبة ٩٩,٩ في المائة. هناك أماكن قليلة تختلف فيها جينوماتنا — فتختلف عن النموذج الأصل في الأرشيف، وتختلف في الواحد منا عن الآخر — وتساعد هذه الاختلافات القليلة في تفسير الاختلافات الفردية التي تلحظها أعيننا بسهولة، وتضخمها كذلك بسهولة بالغة. لو أننا أمكننا فقط أن نرى الجينومات التي نحملها داخلنا، لربما تمكنا عندها من إدراك الأعماق البشرية المتجانسة التي نتشارك فيها.

ومع ذلك فلا يمكن أن يكون هناك ما نحن على ألفة به مثل الجينوم الذي نحمله، ذلك أنه تُنسخ صورة منه «كله» في كل خلية ذات نواة في الجسد. إذا كانت خلايا كبدنا تصنع إنزيمات لإزالة المفعول السام للكحول، وخلايا دمنا البيضاء تتخصص في ضرب أعناق الميكروبات، إلا أن هذه الخلايا كلها لديها في لبّها جزيء الدنا نفسه، والجينوم نفسه، والكروموسومات نفسها، ومجموعة الجينات نفسها. يختلف دنا خلية الكبد عن دنا خلية الكلية أو العظم في الطريقة التي يتم بها تدليل الجزيء بواسطة البروتينات التي يحتفظ بها.

حتى نفهم الديناميات فيما بين تطابق أصل الدنا وتغاير البروتين، يجب أن نلقي نظرة أكثر تدقيقًا على العملاق المدلل الدنا وهو يتربع فوق أريكته في النواة. جزيء الدنا لو بُسط ممدودًا فسيكون في طول طفل في مرحلة روضة الأطفال، لكنه حتى وهو في حالته من كبسه وضغطه ضغطًا فائقًا داخل النواة الميكروسكوبية، فإن حجمه يظل يزيد بمئات المرات عن حجم جزيء بروتين متوسط. على أن الدنا مع كل حجمه الكبير هو في النهاية جزيء بسيط، أبسط كثيرًا في الحقيقة من الكثير من البروتينات التي تحيط به. البروتينات تتركب من عشرين نوعًا مختلفًا من الوحدات الفرعية، أي من عشرين حمضًا أمينيًّا مختلفًا تختار من بينها وتخلطها وتربط بينها، والدنا على نحو مذهل تمامًا يكتفي فحسب بأنه يتركب من أربع وحدات كيميائية مختلفة تسمى القواعد، هي الأساس في تشكيل إطاره، والقواعد الأربع تسمى رسميًّا السيتوزين، والجوانين، والأدنين والثيمين، ولكنها مثل رؤساء الجمهوريات، ومصممي الأزياء، يكتفى عادة بأن تسمى بحروفها الأولى: س، ج، أ، ث. كل قاعدة من القواعد الأربع لها بنية متميزة، وإن كانت أيضًا بسيطة نسبيًّا، وهي مبنية من حلقات من كربون ونيتروجين مثبتة في عمود فقري يلف كاللولب، مصنوع من جزيئات سكر وفوسفات. الحلقات الصغيرة من النيتروجين والكربون تبرز إلى الخارج من العمود الفقري لتبحث عن صحبة لها. الدنا في نهاية الأمر لولب مزدوج، وهذا يعني أنه يتكون من خيطين من القواعد يرتبطان بعمودين فقريين من

السكر — الفوسفات. قواعد (س، ج، أ، ث) فوق أحد الخيطين تواجه القواعد المناظرة على الخيط الآخر، ويُحتفظ بها وجهًا لوجه بالجذب الرقيق بواسطة رابطة هيدروجين، إلا أن اقتران أزواج القواعد عبر الخيطين ليس اعتباطيًّا: قاعدة (أ) ترافق دائمًا (ث)، و(ج) ترافق (س). هذا هو التوافق المتكامل المناسب، الذي يتيح لجزيء الدنا أن يكون مستقرًّا وأن يحافظ على تكامل بنيته واتساقه على مدى امتداده إلى أعلى وإلى أسفل. قواعد الأدنين والجوانين كبيرة نسبيًّا، في حين أن قواعد الثيمين والسيتوزين صغيرة نسبيًّا. هكذا يجري التوافق بين شركاء كبار الحجم مع شركاء صغار الحجم، فيتم الحصول على صف عمودي أنيق ولطيف. أليس هذا جميلًا؟ الكبير كالذكر مع الصغير كالأنثى. ربما نستطيع أيضًا أن نقود هذه الأزواج المتكاملة، هذه القواعد المتزاوجة، لتصعد إلى سطح سفينة نوح.

الدنا إذن جزيء له وجهان، سلسلتان كيميائيتان كأنهما فتاحتان لسدادات القوارير وقد ثُبتتا معًا تثبيتًا غير محكم ولكنه جميل، فهو تثبيت في تكامل مريح. هناك في جانب خيط بثلاثة بلايين قاعدة، ملايين فوق ملايين من قواعد (س، ج، أ، ث) مصفوفة بأنماط مختلفة في حشد من ثلاثيات مثل (س أ ث)، و(ث أ ج) أو رباعيات من (ث أ ث أ)! وهناك كذلك امتدادات طويلة وطويلة من لعثمات بحروف (ث) أو (أ) أو (ج س) تكرر نفسها حتى تصبح مهيأة للوصول إلى (ج أ ج). وسنجد على الخيط المواجه الصف المكمل من ثلاثة بلايين قاعدة بحيث عندما يكون على أحد الخيطين تتابع من (س أ ث) سيقابله على الخيط الآخر تتابع من (ج ث أ). كان الهدف من «مشروع الجينوم البشري» هو التحديد الدقيق للتتابع الكيميائي لكل البلايين الثلاثة من أزواج القواعد للدنا البشري، وليسمح لي القارئ أن أقول له إن هذه مهمة مرهقة وكثيرًا ما كانت مضجرة، فقد ثبت أن الكثير من أجزاء الجينوم تتكرر تكرارًا رتيبًا محبطًا، بما يبدو كأنه أرض قاحلة في داخلنا لا معنى لها. هناك بوجه خاص مناطق كبيرة من الجينوم البشري ثبت أنها تتكون مما يشار إليه كثيرًا بأنه «دنا اللغو»، قواعد تملأ فراغات ويبدو أنها لا تلعب إلا دورًا صغيرًا في المهمة الأساسية

المخصصة للجزيء، مهمة التشفير لقواعد صنع البروتينات الجديدة وصنع خيوط جديدة من الدنا. لا نزال لا نعرف إن كان ما يظهر على أنه لغو هو حقًّا لغو، ولكنه مستمر في البقاء في حضن دنانا لأنه غير ضار ومن ثم لا يوجد أي ضغط على الخلية لطرده، أو أن هذا اللغو له دوره الذي وإن كان لا يزال خفيًّا فإنه مع ذلك ضروري، كأن يساعد مثلًا في أن ينحني الدنا في كل الأماكن المناسبة لذلك، أو أنه يوفر المادة الخام اللازمة لبدء تغيرات تطورية في المستقبل. ما نعرفه بالفعل أن هناك جزءًا ضئيلًا لا غير من البلايين الثلاثة من أزواج القواعد، جزء يقرب من ٥ إلى ١٠ في المائة، مكرس للمهام البيولوجية الملحة لإنتاج البروتين، وبكلمات أخرى فإن ١٠ في المائة فقط من دنانا هي قوام ما نسميه الجينات.

هذا إذن ما ينحدر إليه الأمر بشأن الهالة المحيطة بالجينوم: «جيناتنا» التي نقول إنها كلها ربما تكون في ثلاثمائة مليون قاعدة، توجد مبعثرة بين حشد من ثلاثة بلايين قاعدة. هذه القواعد، بما لها من تتابع كيميائي له أهميته الأساسية، تشفر لبروتينات جسدنا؛ إنها الوصفات، والمعادلات، والحروف الأبجدية لتلك البروتينات. الجين بأبسط المعاني وصفة لأحد البروتينات مكتوبة في نص الدنا، في صف من حروف (أ س ث ج). تعمل الشفرة بمجموعات ثلاثية من الحروف: ترمز كل ثلاثة قواعد إلى حمض أميني واحد. إذا قال لنا امتداد من الدنا إنه (س أ ث) فإننا نرى عندها شفرة للحمض الأميني هيستيدين histidine الذي يمكن اختصاره بصورة مناسبة إلى الاختصار الماكر his. عندما نرى (ج ث ث) نعرف أن ما هو مطلوب هنا هو الحمض الأميني فالين.[١٥] ثم هناك أيضًا علامات ترقيم،

---

[١٥] مجموعة التوليفات الثلاثية الممكنة هكذا في الدنا هي (٦٤)، وهي تزيد كثيرًا عن عدد الأحماض الأمينية المطلوب تشفيرها (٢٠ حمضًا قياسيًّا)، ونتيجة لذلك فإن معظم الأحماض الأمينية يمكن أن تتعين بمجموعات ثلاثية عديدة مختلفة من حروف (أ ث ج س). الأحماض الأمينية: الأرجنين، والليسين، والسيرين؛ كلها تحتل أعلى عدد، وهو ست من علامات رمز البيانات لكل واحد منها، بينما التريبتوفان والمثيونين المسكينان لا يُمنح كل منهما إلا علامة رمز واحدة لكل. لن يثير الدهشة إذن أن ينتهي الأمر بالتريبتوفان إلى أن يكون نادرًا نسبيًّا كوحدة فرعية في مجتمع البروتينات، وإن كان مع ذلك يظل أساسيًّا لصحة الإنسان وسعادته. يصنع الجسم السيروتونين من التريبتوفان، والسيروتونين هو مادة المخ الكيميائية المألوفة التي تسعى إلى دعمها أدوية من نوع «بروزاك». (المؤلفة)

مجموعة حروف ثلاثية تعني «وصفة البروتين تبدأ هنا»، وثلاثيات تماثل نقاط كبيرة أو علامة مثل ###، تقول لنا إننا وصلنا إلى نهاية الوصفة. هناك شفرات أخرى تماثل كتابة نوتة حركية لقطعة موسيقية تقول: زد قوة العزف هنا، اصنع الكثير من هذا البروتين، أو لطّف من العزف هنا، يكفي صنع اثنين.

على أن نوتة عزف هذه البروتينات ليست مدونة على الإطلاق بطريقة مباشرة أو مرتبة على نحو خطي. هناك أجزاء مختلفة من أحد الجينات، أو خطوات مختلفة في الوصفة، قد تكون مكتوبة في أجزاء مختلفة جدًّا من جزيئات الدنا الضخمة، ولا «تُقرأ» كسرد متماسك إلا عند لحظة تكوين البروتين. يوجد اللغو والهراء، ليس بين الجينات فحسب، وإنما أيضًا في الداخل من الجينات.[16] ربما يكون العلماء قد أكملوا إلى حد بعيد توضيح معنى الجينوم البشري، إلا أن تتابع القواعد هو مجرد بداية ينقصها الكثير، إنها مثل ثلاثية الاستهلال (أ س ث)، ولا يزال باقيًا لدينا الكثير لنحدسه في هذه القصيدة الملحمية الروحانية. بل إننا لا نزال غير واثقين من عدد الجينات التي توجد في الدنا البشري، في كل مرة نريد التدقيق عند مسح الشفرة، ينقص العدد الكلي. في وقت قريب يرجع إلى أواخر تسعينيات القرن العشرين، كان الرقم المتفق عليه للعدد التقريبي للجينات البشرية هو أنها مائة ألف، مع انتهاء الألفية، انخفض العدد إلى ٨٠٠٠٠ جينوم. ثم انهار العدد إلى النصف بعد عامين. ووصل بنا آخر عد إلى الانخفاض إلى ما بين بدء أو وسط الآلاف العشرين.

إلا أن الجسد لديه فيما يحسب له ما يزيد — إلى حد له قدره — عن ٢٥٠٠٠ بروتين مختلف، بل إن هناك بعض التقديرات بأنه قد يكون هناك ٢٠٠٠٠٠ منها تعمل في خلايانا. من الواضح أن المبدأ العام الشديد التأنق الذي يقول إن الجين الواحد يساوي بروتينًا واحدًا هو مبدأ لم يعد بعد

[16] لا يصدق هذا على دنا البكتريا وغيرها من ذوات النواة الكاذبة، التي تنقسم مبكرًا وكثيرًا بحيث لا تستطيع أن تتحمل تكلفة أن تضع على عاتقها الأحمال التي ترادف همهمات بلا معنى وأنشطة عبثية بلا فائدة، فجينومات البكتريا فيها نقاء وصقل أكثر كثيرًا من جينوماتنا. (المؤلفة)

قائمًا، وبدلًا منه فإن الجينات تشبه جملًا تكون إحداها كالمثل القائل: «نصطاد للأكل الديك الرومي والبط» أو مثل عنوان بعض حلقات مسلسل ستارتك الذي يقول: «هل لا يوجد جمال في الحقيقة»، أو تلك الأغنية التي تقول: «هاهنا يشتاق الكل لها». عندما تتغير مسافات المباعدة أو علامات الترقيم في الجملة، يسقط معناها. وبالمثل فإن من الواضح أن جينات الجسم يمكن أن تُقرأ بطرائق كثيرة بواسطة الأعين الحادة لمقدمي العمال، أي البروتينات التي تحس بحاجة الخلية لبروتينات جديدة، والتي لديها التوهج البنيوي للتعلق بجزيء الدنا لبدء التشغيل السريع لماكينة صنع البروتين.

دعنا نفترض أنك إحدى الخلايا البنكرياسية وأنها لسوء حظها خلية مثبتة في كائن حي، هذا الكائن فتاة يعوزها التفكير السليم وسلوكها يؤدي بها إلى أنها ستجري تاسع عملية لإزالة عصب ضرس، وذلك لأنها تكرر دس يدها في طبق جدتها الذي تضع فيه الحلوى. وهي تزيل غطاء ثلاث قطع من حلوى الكراملة وتبتلعها في أقل من دقيقة واحدة. يرتفع سكر الجلوكوز عاليًا في دمها. إنها تحتاج الآن لدفعة جديدة من الأنسولين — وهو بروتين يعمل كالإشارة بين الخلايا ولهذا يسمى هرمونًا — وهذا الهرمون يحفز خلايا كبد وعضلات الفتاة للتخلص من بعض هذا السكر الزائد في الدم. البنكرياس هو العضو المخصص كمصدر للأنسولين. خلية البنكرياس عضو في مجتمعه وهي لا يمكنها أن تتحول فجأة إلى حالة من مرض السكر وتفشل في إنتاج الأنسولين، الاحتمال الأرجح هو أنها من المتوقع أن تنتج هرمون الأنسولين. كيف بحق السماء تستطيع هذه الخلية، أو أنت، أن تفعل ذلك. لحسن الحظ فإنك الآن هذه الخلية، خلية استفادت من الخبرة التطورية لأكثر من ٣ بلايين سنة، وأنت تعرف معرفة متأصلة الأمر الذي لم نتوصل نحن بعد إلى أن نتعقله بوضوح، نحن أفراد «الهوموسابينز» أو الإنسان العاقل، فنحن لم نتعقل بعد كل خطوة لازمة لإرسال إشارة بإخلاص من العالم الخارجي، من البيئة خارج الخلية، إشارة تصل إلى أعمق مثوى في الداخل، ثم أن تحول الإشارة إلى بروتين جديد، إلا أن هذا هو ما يحدث على وجه التقريب.

تحس الخلية البنكرياسية بأن هناك حاجة إلى خدماتها عندما تأخذ جزيئات السكر في الدم في استثارة ووخز غشاء الخلية. تحط إشارة الكرب داخل وخلال السيتوبلازم عن طريق كتائب من البروتينات سريعة الخُطى شكلها قابل للتحول. يشبه ذلك أحد أفلام هوليود التي تتزايد في إثارتها، ويكتب فيه أحد الأطفال خطاب التماس لرئيس الولايات المتحدة، ونشاهد ظرف الخطاب وهو يمر من موظف البريد المحلي إلى مكتب البريد المركزي، ثم إلى صغار الموظفين في مجموعة سكرتارية البيت الأبيض، ليتصاعد إلى مساعدي المساعدين، ليصل إلى الحلقة الخارجية من مستشاري الرئيس، وفي كل مرحلة يتزايد الحس بإثارة شديدة، حتى يصل الأمر في النهاية إلى التساؤل هل ينبغي أن نعرض هذا الخطاب على الرئيس؟ آه، نعم، قطعًا، لا بد من أن يرى الرئيس هذا في الحال! يندفع المستشارون إلى المكتب البيضاوي للرئيس كما يتخذ شكله بالأسلوب الملائم للخلايا، ليجدوا الرئيس كما هو الحال دائمًا محاصرًا من كل الجوانب؛ فهناك الحراس الشخصيون، والمشرعون، وأعضاء رواقات الضغط، وأصحاب المقامات الرفيعة وغير الرفيعة، وطبيب الرئيس، ومنجّم الرئيس ومدربه الشخصي، وحلاقه، وإدوارد تاتوم[١٧] من أوماها بولاية نبراسكا، الذي دخل هنا في تجواله بحثًا عن الحمّام. لا أهمية لكل هذه الحشود. لا يحتاج حاملو الخطاب إلى التفات الرئيس لهم التفاتًا كاملًا؛ فهم مثل أي واحد آخر يريدون فقط جزءًا صغيرًا، إنه جزء سوف يحلوه بمهارة بالغة قبل غزوه.

الدنا وهو قابع في النواة، يكون في شكل يماثل كرة شعر كثيفة مجدولة من خيوط أحماض نووية تغلفها عباءة من البروتينات، وهذه الخيوط الملفوفة تلتف وتلتف ثم تلتف مرة أخرى التفافًا فائقًا. لا يحدث أن ينفصل الدنا بالفعل إلى الأجسام المتميزة التي نسميها بالكروموسومات إلا عندما تكون إحدى الخلايا على وشك أن تنقسم إلى اثنتين — كما تفعل الخلايا على نحو متكرر نوعًا ما في الأنسجة ذات التقلب الكثير مثل الجلد

[١٧] إدوارد تاتوم: عالم حاصل على جائزة نوبل عام ١٩٥٨م عن بحث في الوراثة. (المترجم)

والدم — ولكن هذا الانقسام لا يحدث إلا نادرًا في الأعضاء المستقرة إلى حد له قدره كالمخ. هكذا عندما تكون إحدى الخلايا على وشك أن تنقسم فإن الدنا ينفصل بالفعل إلى الكروموسومات. وفيما عدا ذلك نجد أن كل قطع الكروموسومات في الجينوم تكون ملتحمة معًا ومحزومة معًا. الدنا إضافة إلى أنه يلتف التفافًا فائقًا فإنه في الخلية العادية غير المنقسمة — مثل خليتنا البنكرياسية بما لها من خطة فرعية مضمنة في رسائلها — يكون دناها بالطبع في شكل لولب مزدوج. هذا نمط بشكل يشبه فتاحة السدادات ويكون فيه كل واحد من خيطي القواعد في وضع يتوافق مع الخيط الآخر بقواعده المكملة، ويكون الدنا نتيجة لذلك مستقرًّا للغاية كيميائيًّا. هذه الصلابة النسبية للجزيء تفسر السبب في أننا في أحيان نادرة نستطيع تصيد عينات الدنا من مصادر عتيقة، مثل الحشرات المحبوسة في الكهرمان، كما يفسر السبب في أن منطق فيلم حديقة الديناصورات — من أنه يمكن إعادة تنمية الديناصورات من بقايا جينات الديناصورات الموجودة في الحفريات — ليس أمرًا بعيد الاحتمال كل البعد.

على أن الاستقرار والمنفعة أمران مختلفان. كما أن أي كتاب لا بد أن يكون مفتوحًا حتى يقرأ، فبمثل ذلك يجب أن يكون خيطَا الدنا في المنطقة المهمة المطلوبة من اللولب المزدوج مبتعدين أحدهما عن الآخر حتى يمكن تفهم تعليماته. ومن ثم فإنه في هذه الخلية البنكرياسية توجد بروتينات تعرف أين يمكن لها في هذا الجسم الضخم الملتوي للدنا المستقر فيها أن تعثر على الوصفة التي تدل خطوة فخطوة على طريقة أن يُجمع معًا المزيد من الأنسولين. نحن لا يمكننا بعد أن نقول كيف تعرف البروتينات المكان الذي تبحث فيه في كومة التبن النووية ببلايينها الثلاثة من أزواج القواعد، ولكننا نعرف أنها تعرف طريقة لذلك، ونحن نعرف أن هناك بروتينات مخصصة للتعرف لها أنف غاية في الحساسية لتتشمم مكان شفرة الأنسولين، وذلك لأن البنكرياس كقاعدة يصنع الأنسولين يوميًّا. تتعلق البروتينات بالموضع المناسب على الدنا، وتأخذ فرق البروتينات برفق في فك التفاف هذه المنطقة من الجينوم وفصل خيطي اللولب، لينكشف صفان عاريان من القواعد

كأنهما أسنان في فك مفتوح. تستطيع الآن بروتينات أخرى أن تجمع من الشفرة المكشوفة المعرفة المطلوبة لتكوين بروتين أنسولين جديد وتجعل لهذه الأسنان الأرشيفية صوتًا فعالًا عاليًا. لا ريب أنه لا يوجد من لديه رغبة في أن يظل يتسكع هنا وهناك فوق هذه الوثيقة الأصلية الثمينة، تمامًا مثلما لا نرغب في إعارة الوثيقة الأصلية «لإعلان الاستقلال» لطالب في الصف الخامس ليستعرضها ويعرفها، أو أن نعيرها لعضو في لجنة الأخلاقيات بالكونجرس لأي غرض يكون. إذا واصلنا العمل — طويلًا أكثر مما ينبغي وعنيفًا أكثر مما ينبغي — على خيطي الدنا المكشوفين وقد تفكك لفّهما اللولبي يكون في هذا خطر إدخال طفر في الجزيء، أي إدخال عيب بنيوي يمكن أن يؤدي لاحقًا إلى بعض المشاكل، كالسرطان مثلًا. ومن ثم فإن أول مطلب للعملية هو أن تصنع بروتينات الاستنساخ نسخة كيميائية تنفيذية لجين الأنسولين، في شكل رسالة الرنا (RNA) من الجين، أو رنا الرسول كما يسميه العلماء. ترفرف هذه البروتينات بطول خيط واحد من الدنا المنفرج، وتقرؤه باللمس، كما يقرأ الأعمى بطريقة برايل، ثم تجمع القواعد الفائضة من أماكن أخرى من الخلية، وتجمّع معًا قطع رسالة الرنا، التي تشابه كثيرًا الجين الأصلي، مع استثناء واحد صغير: أينما يكون في شفرة الدنا قاعدة ثيمين، فإن فريق الاستنساخ يضع في رسالته ابن عم قريبًا جدًّا كيميائيًّا من الثيمين، وهو قاعدة اليوراسيل. هذا أداء ممتاز للمهمة! مسودة أولى جميلة! قبل أن تكون الرسالة جديرة بإعلانها كبروتين، لا بد وأن تراجع بواسطة بروتينات التحرير، وهذه تشطب ببراعة كل الأجزاء الزائدة التي تملأ فراغ الشفرة في النسخة وتوصل معًا الفقرات المهمة لتشكل الصيغة التنفيذية للأنسولين.

تسلم هذه الرسالة المنقحة إلى واحد أو أكثر من ريبوسومات الخلية الكثيرة، تلك الحزم المكورة من البروتين والرنا التي تخلّق كل السلع البروتينية الجديدة. تنزلق الريبوسومات عبر الرسالة، وتفسرها هي أيضًا باللمس. فتمسح القواعد كمجموعات حروف ثلاثية، كل ثلاثة منها هي حروف استدعاء لأحد الأحماض الأمينية، وإن كان ما يحدث هنا في رطانة طائفة

صناع بروتين الخلية أن النداء على الهيستيدين لا يكون بحروف (س أ ث) وإنما بحروف (س أ يو)، كما أن حروف (ث ج ج) لا تنادي الحمض الأميني تريبتوفان إنما يكون ذلك بحروف (يو ج ج). تقرأ الريبوسومات الرسالة بحثًا عن الأحماض الأمينية المطلوبة. تصبح الخلايا كأسواق السلع الرخيصة المستعملة وأفنية البيع وقد امتلأت بلبنات بناء البروتين والرنا ومزيد من البروتينات والدنا الجديد. في حالة تجميع أجزاء الأنسولين معًا، تحتاج الريبوسومات إلى عدد من (١١٠) حمض أميني، وعندما ترص كل الأجزاء في صف يرتد الصناع إلى الوراء ويتركون البروتين الجديد لينطلق في ألعاب كألعاب الفيديو! يحدث هذا بالدفع الذاتي، وهو محكوم بحس داخلي بالنسب والهدف، فلا تلبث السلسلة الخطية من الأحماض الأمينية أن تنطوي وتلتف في مطاردة لذيلها وترقص وتغني الرومبا والكونجا، وتصل بمساعدة قليلة جدًّا من الحشد البروتيني المحيط بها إلى أن تتخذ شكلها ذا الأبعاد الثلاثة الذي يشبه كرة آمنة للعب في المنازل يشكلها فنان ياباني. هذا التحول المسرحي من تشكيل منبسط من الأحماض الأمينية إلى بروتين مكوّر متين يحدث بطريقة تكاد تكون تلقائية تسوقها عوامل دفع وشد متأصلة في الأجزاء المكوّنة، ولكن هذا لا يعني أن الأمر يماثل لعب الأطفال. لا يزال العلماء في حيرة للفوارق الدقيقة لعملية طي البروتين. العلماء الآن بارعون تمامًا في عزل الجينات وتحديد التتابعات فيها، وحددوا أيضًا تتابعات جينومات بأسرها في أنواع كثيرة غير نوعنا؛ جينومات الفأر، والذبابة، والدودة المستديرة، والجرذ، والكلب، والحصان، والشمبانزي، وصنوف ضارية من جراثيم لأمرض مميتة. عند وجود تتابعات الدنا لأحد الجينات ميسرة في أيدي العلماء، فإنهم يستطيعون أن يعرفوا في الحال ما ستكونه قائمة الأحماض الأمينية «لإنتاج» بروتينها. ومع ذلك لا يزال العلماء يعجزون عن أن يتنبئوا من التتابع الجيني أو من تتابع الأحماض الأمينية بما سيبدو عليه البروتين النهائي المطوي بالكامل، أو ما هي القدرات الملازمة لشكل الخطوط الكنتورية المحيطة بالبروتين. يذكرنا هذا الجهل بتأملات لويس توماس الشيقة عن كيف أنه سيحس «باكتئاب عميق» لو طلب منه أن

يؤدي مهمة كبده وكيف أنه يفضل بدلًا من ذلك أن يسارع بتولي مهمة إرشاد طائرة نفاثة من نوع ٧٤٧ على ارتفاع ٤٠٠٠٠ قدم فوق دنفر، وكتب يقول: «لو أخذت على عاتقي مسئولية أداء وظيفة كبدي لن يكون هناك أي شيء ينقذني عندها أنا وكبدي؛ ذلك أني — عند مواجهة الحقائق بصراحة — سأكون إلى حد بعيد أقل ذكاء من كبدي.» لحسن الحظ فإن الكبد يقوم بوظيفته دون الاستماع إلى النصيحة الطبية للدكتور، كما أن الأنسولين الوليد الجديد لا يحتاج إلى أي فهم أو استحسان حتى يعثر على الخطوط المنقوطة له لتوصيلها معًا ويجهز نفسه لمهمته في «بحر النبيذ المظلم».[١٨]

الكل أذكى وأبرع منا. مع كل التعقد الرهيب في عملية تخليق البروتين، فإن الخلية تقوم بها بسهولة وسرعة وسخاء. كثيرًا ما يحدث أن تُقرأ رسالة واحدة من الرنا بواسطة ريبوسومات كثيرة في وقت متزامن، ويصنع كل ريبوسوم منها نسخته الخاصة من البروتين. يُخلق في الخلية البشرية في المتوسط ما يقرب من ٢٠٠٠ بروتين كل ثانية، بإجمالي إنتاج يومي لكل خلية يقرب من ١٧٣ مليون بروتين وليد. إذا ضربنا هذا الرقم في العدد الكلي لخلايا الجسم البشري الذي يقرب من ٧٤ تريليون خلية، فستكون النتيجة حصيلة هائلة، إنها تصل إلى $١٫٢٨ \times ١٠^{٢١}$ بروتين تُنتج يوميًّا. لماذا إذن في ضوء هذه الإنتاجية المذهلة للخلايا، لا يحدث أن نزيد ونزيد حجمًا؟ حسن، أحيانا يحدث ذلك، ولكن ليس هذا هو المكان الذي نناقش فيه وباء السمنة الدولي، وإضافة إلى ذلك، سنجد أنه حتى خلايا الصيادين — جامعي الثمار — كانت يوميًّا تصنع بسرعة ملايين التريليونات من البروتينات الجديدة ولكننا عندما ننظر إليهم نرى كيف كانوا نحيلين. السبب في أن خلايانا لا تنتفخ وتنفجر متباعدة أنه يجري مباشرة في تلازم مع عملية بناء البروتين الضخمة عملية هدم للبروتين لا رحمة فيها. فالخلايا تبني البروتينات، والخلايا أيضًا تمزقها وتفتتها ثانية.

---

[١٨] بحر النبيذ المظلم: عنوان رواية مشهورة صدرت عام ١٩٩٣م عن القرصنة، والعنوان مأخوذ من بيت شعر لهوميروس. (المترجم)

هناك عدد له قدره من بروتينات الخلية تعمل كإنزيمات مكرسة للعمل على انحلال البروتينات الأخرى، بما في ذلك أيضًا الإنزيمات الأخرى للانحلال. هذه الإنزيمات المخصصة للانحلال بينها إنزيمات تدمر ألياف الكولاجين، وإنزيمات تدمر بروتينات العظام، وإنزيمات تدمر الإنزيمات التي تدمر ألياف الكولاجين وبروتينات العظام. بروتينات الخلية تظل باقية في المتوسط ليوم فقط أو يومين، وهناك بعض أنواع تكون مكتملة ومتقنة تمامًا وهي تخرج من حجرة ولادتها الريبوسومية لتُدَمَّر لحظة خروجها.

قد يبدو كل هذا التقلب في البروتين على أنه يحدث بأسلوب رهيب من عدم الكفاءة والإهدار، لماذا ننفق وقتًا كثيرًا هكذا ونحن نأكل لحم وألياف الكائنات الأخرى وخلايانا تنفق بدورها وقتًا كثيرًا وهي تأكل لحمها وأليافها هي نفسها؟ هل الخلية تتصرف بحماقة لا تعقل، أو هل هي ذات نزعة لكمال مثالي إلى حد لا يعقل، أو هي تعمل كمقاولي وزارة الدفاع الأمريكية؟ الحقيقة أن الاضطراب والمخض المستمر للبروتين يوضح عقيدة عميقة في البيولوجيا ويعود بنا ثانية إلى السؤال الذي لاقيناه من قبل عن سبب صغر الخلايا الشديد. ماري كنيدي عالمة في البيولوجيا العصبية بمعهد كالتك، وقد شرحت لي كمبدأ في «التوازن الديناميكي»، فكرة أنه في المنظومة البيولوجية البالغة التعقيد مثل الخلية، لا بد أن تتلاءم أجزاؤها معًا تلاؤمًا يكون في الوقت نفسه دقيقًا مضبوطًا، وكذلك أيضًا فضفاضًا. يجب أن يتلاءم الإنزيم مع النتوءات والشقوق الموجودة في هدفه الذي قصد له، ولكنه يجب ألا يتلاءم مع ما يوجد في جزيء آخر مجاور من بروزات وشقوق شبيهة إلى حد ما. إذا كان يُفترض في الإنزيم أن يرتبط مع قطاع جزيء الدنا حيث كتب مثلًا نص جين الأنسولين، فلن يكون من المرغوب فيه أن يرتبط بالتتابع الجيني الذي يحوي شفرة صنع هرمون الغدة الدرقية.

وفي الوقت نفسه، فإننا لا نريد للإنزيم أن يلتصق بجزيء الدنا عند عنوان الأنسولين ويظل مقيمًا هناك وكأنه قد ثُبت بمسمار في مكانه. تقول كنيدي: إننا نريد أن يكون الارتباط بحيث يؤدي المهمة بدقة ولكنه أيضًا ارتباط مرن، وبالإضافة لذلك فنحن نريد المرونة بدرجات مختلفة؛ أحيانًا

يرتبط البروتين بهدفه ارتباطًا قويًّا جدًّا، وأحيانًا يكون ذلك بدرجة متوسطة، وأحيانًا يكون الارتباط بالكاد، إلى جانب أن الالتزام النسبي للارتباط نفسه ينقل معلومات مهمة، كأن يقول البروتين: أنا متشبث حقًّا بمكاني هنا بطريقة محكمة، أنا جاد بشأن المهمة التي خصصت لي، أنا في حاجة لأقصى قدر من إنتاج الأنسولين. أو يقول: الحقيقة أني أتسكع هنا فقط، أتفرج على واجهات عرض الدكاكين؛ فلا يوجد حاليًّا ما يستدعي إنتاج الأنسولين، ولكن من يدري ماذا سيحدث الليلة بعد تناول الحلوى. تقول كنيدي: إن الحفاظ على حالة من توازن ديناميكي اوضع فضفاض ممزوج بالدقة المضبوطة «يتيح أن يكون لدينا قدر هائل من التحكم والتغذية المرتدة على كل مستويات المنظومة.» إحدى الطرائق للحفاظ على هذه الحالة الخاصة من الاتزان المرن تكون عن طريق حشد شاغلي الخلية، ولكن مع المحافظة على حركتهم في الوقت نفسه؛ أن يكون لدينا الكثير من البروتينات ورسالات الرنا والكروموسومات الهائلة المعقدة، والجميع مضغوطون كتفًا بكتف، ولكنهم يتقلبون ويغيرون وضعهم وهم في اتصال مستمر. يشبه الأمر عربة لقطار مترو الأنفاق أثناء ذروة الازدحام؛ يصعد ركاب، ويهبط ركاب، ويشق البعض طريقهم إلى وسط العربة، ويتجمع آخرون حول الأبواب، والناس يقولون: عذرًا، عذرًا، وهم يشقون طريقهم بمرافقهم إلى الباب ويهبطون قبل دق الأجراس وإقفال الأبواب ثانية، يخلو مقعدان ويرى الركاب الواقفون بالقرب منهما الفرصة سانحة ويلقون نظرة عاجلة أحدهم على الآخر ليروا من الأشد حاجة للجلوس: هيا تقدم أنت واجلس. لا، لا، من فضلك اجلس أنت، سأنزل على أي حال بعد محطتين، وأنا أصغر سنًّا وأحسن صحة بكثير. ومع أن النظام يبدو دائمًا على وشك أن ينهار في فوضى، إلا أني أستطيع أن أقول لك عن خبرة بصفة أنى تمرست منذ الصغر على ركوب قطارات الأنفاق في نيويورك، أن ما يحدث هو حقًّا معجزة من كفاءة جنونية، معجزة يُنقل فيها ملايين الأفراد يوميًّا إلى العمل ومن العمل، عبر مئات الأميال من المسارات، ومع ذلك نادرًا ما يحدث أي انهيار، وإنني مهما انحشرت مختنقة في عربة مترو أنفاق، فإني أتمكن دائمًا من التلوي

لشق طريقي إلى الباب ولم يحدث أن فاتتني أبدًا محطتي. التشبيه فيه درجة كبيرة من عدم الدقة، وأنا سعيدة لأن قطار الأنفاق ليس خلية، وذلك لأن الكثيرين من «المسافرين» في الخلية الذين يهبطون منها لا يتجهون إلى البيت أو العمل وإنما يتجهون إلى حفل دمارهم. هذه هي طريقة الخلية في الحفاظ على حركة مندفعة زلقة: فتسارع في اندفاع بإنتاج الجديد من مستنسخات الرنا والبروتينات، وتمزق القديم إربا على نحو مطرد.

يتفق أيضًا أن تقلب البروتين المستمر هو طريقة ممتازة للتحكم في سلوك البروتين؛ فالكثير من البروتينات يكون أول ظهورها على المسرح وقد طبع عليها فوق جباهها التاريخ المحدد لانتهاء استعمالها: فهي قد صممت بحيث تنهار سريعًا إلا إذا تدخلت إشارة كيميائية من الخارج وأعطت لها تعليمات بغير ذلك. هذه الحيلة تفيد بالذات للحفاظ على أقوى بروتينات الخلية مجهزة في الصف، مثل تلك التي تحفز الخلية على بدء الانقسام. سوزان لندكويست عالمة في بيولوجيا الخلية والمديرة السابقة لمعهد هوايتهد تقول: إن الفكرة هنا هي أننا نريد بروتينات ذات نزعة للنمو تكون في متناول اليد وجاهزة للاستجابة خلال لحظة من طلبها، خاصة للخلايا المناعية التي ربما تكون في حاجة لأن يبدأ تناسخها عند أول استثارة لها بالفيروسات. وفي الوقت نفسه فنحن لا نريد بروتينات تناسخ تتلكأ في الخلية إلى ما لا نهاية، خشية أن تأخذ في التصرف حسب رغبتها الذاتية وتثير انقسامًا غير مطلوب للخلايا. الحل إذن هو: تخليق البروتين باستمرار، ولكننا نجعله غير مستقر. لا تستقر هذه البروتينات وتعمل إلا عندما تدخل إلى الخلية هرمونات النمو الملائمة فقط أو غيرها من الرسل الجزيئية.

هكذا نرى مرة أخرى السبب في أن الخلايا توجه ناظريها إلى أسفل أكثر مما نفعل. تتفوق الخلية من خلال الإدارة الميكروية، وتتوصل إلى أفضل إنجاز للكثافة البروتينية العالية وللتدفق البروتيني المستمر وهي تركب على متن سفينة محكمة مدموجة. تستطيع الخلية بغشائها المحكم ضد نفاذ الماء وبمقاييسها الصغيرة المتواضعة أن تبقي بروتيناتها مطوقة داخلها وأن تعالج أمر أملاحها، وأن تجعل الأس الهيدروجيني بالقدر الأمثل

لها، وأن تصل إلى حالة التوازن الحركي. كل خلية هي مجتمع مستقر مع وجود عوامل عدم استقرار جوهرية، جزيرة حية بحد ذاتها مثل مانهاتن، ولكن الآذان كلها مضبوطة في اتجاه العالم خارجها.

يتطابق الدنا الموجود داخل خلايا كبدنا مع الدنا داخل خلايا المخ، أو اللسان أو البنكرياس أو المثانة، ويحتوي دنا كل خلية على التعليمات لأداء عمل أي خلية. الكثير من هذا العمل روتيني وغير متخصص، وتؤديه أي خلية بصرف النظر عن موقعها. يجب على كل خلايا الجسد أن تلجأ إلى كتاب شفرة دناها لتصنع البروتينات التي تدير ذراع تروس الحركة في دورة كريب مثلًا، حيث تتخذ الخطوات التدريجية لتحويل الطعام إلى وقود صالح لاستخدام الخلية. يجب على كل الخلايا أيضًا أن تستشير دناها لصنع البروتينات اللازمة لترميمها كلما حدث لها كسر أو طفر، ومع متانة الجزيئات فإنها تحتاج لصيانتها يوميًّا.

على أن هناك أيضًا الشفرات التخصصية، إنها صيغ بروتينية تمتلكها كل الخلايا، ولكنها مما لا يستشيره إلا القلة من الخلايا. الجينوم الموجود داخل خلية المثانة لديه الشفرة لصنع الأنسولين، إلا أن المثانة لا تفرز أي أنسولين مهما كان صاحبها في حاجة ملحة للتبول. تستطيع خلايا البنكرياس من الوجهة النظرية أن تعمل كمطرقة تدق شكل مستقبلات تذوّق تميز المر من الحلو، ولكن البنكرياس وهو غدة كبيرة في شكل مطرقة تتدلى تجاه ظهر تجويف البطن، لديه مهام أفضل يقوم بها. هكذا فإن خلايا الجسد المختلفة تختلف بعض الشيء في طريقة سلوك دناها، فتختلف فيما يكون نشطًا من جيناتها وما يُجعل واقفًا منها. البروتينات هي العمال التي تقوم بالدور الممتاز لأزرار التشغيل والإيقاف، فهي تستثير جينات لتعمل وتكبت جينات أخرى فلا تعمل. تتعلق البروتينات داخل خلية المخ بجزيء من الدنا وتمسح شفرة صنع مواد الدوبامين أو السيروتونين، أي مواد الإرسال العصبية التي تنقل الإشارات عبر قشرة المخ المغضنة. لماذا تمتلك خلايا المخ هذه البروتينات داخل حدودها، ولا تمتلكها خلايا الجلد؟ كيف تعرف خلايا المخ طريقة صنع البروتينات التي تستقر فوق الدنا وتتوصل

إلى شفرة المواد الكيميائية الأخرى للمخ مثل السيروتونين والدوبامين؟ إذا كان دنا خلايا المخ مطابقًا لدنا الخلايا في أصابع القدم، لماذا لا نفكر بأقدامنا حتى إذا حاولت أن تدلى بصوتك استخدمتها؟

الإجابة عن الأسئلة التي تتناول طريقة تمايز الخلايا وطريقة اكتسابها للهوية الخاصة بنسيجها، هي إجابات لا يزال معظمها مخبوءًا في الأسرار العنيدة الصامدة لتنامي الجنين. يبدأ الإنسان كخلية واحدة، بويضة مخصبة، وهذه الخلية الواسعة القدرات تعرف كل شيء وترى لأقصى الآفاق ولديها الإمكان لأن ينشأ عنها كل أعضاء الجسم، إلا أنه مع تنامي الجنين نجد أن خلاياه التي تتكاثر سريعًا تأخذ في التبرعم فيما هو متمايز من المستعمرات والطبقات والقطاعات والأعضاء الأولية، وكلما كثر عدد الخلايا قلّ ما يبقى لدى كل خلية من حرية في الحركة والإمكانات، وتصبح أكثر التزامًا بموقعها ومهمتها كعضو في طرف أو كلية أو رئة. يحدث في سياق التمايز أن الجينوم داخل كل خلية يخضع لسلسة رهيفة من التعديلات. إذا كان المصير المحدد للخلية هو أن تغدو جزءًا من الكبد يُضغط برفق على الشفرات الجينية الضرورية لإنتاج الصفراء وهرمونات الجنس لتصبح في تشكيل نشط، وربما يحدث ذلك بتحويل التواءات الدنا التي تقبع عليها هذه الشفرات لتتجه إلى الخارج قليلًا، وتغدو متاحة لأن تتوصل إليها بروتينات الاستنساخ التي تكسب الشفرة صوتًا فعالًا حيًّا. نجد في الوقت نفسه أن التتابعات الجينية التي لا فائدة منها لخلية الكبد يُخمد صوتها، وتطوى لأسفل أو للداخل، أو تكبل بقليل من «مجموعات الميثيل» الكيميائية، وهي مجموعات تُعد للخلية نوعًا من الشريط اللاصق فوق الفم. نحن لا نفهم إلا القليل عن تنامي الجنين وما وراءه من رقصات باليه الوراثيات، وإن كانت لا تزال هناك أبحاث مسهبة تجري بشأن هذا الموضوع، بما في ذلك ما يجري على ذلك النوع من الخلايا التي يُحتفى بها كثيرًا وتثير الرهبة السياسية كثيرًا، الخلايا التي تسمى بالخلايا الجذعية، الخلايا التأسيسية التي يتفرع عنها بعد ذلك أنواع الخلايا الأكثر تخصصًا.

إلا أنه حتى بعد أن تتخذ خلايانا هويتها الأساسية، وتبرمج فنيًّا للعمل كخلية لعضلة ناعمة أو كخلية بصيلة شعر، فإنها مع ذلك تواصل التوق إلى شحذ مهاراتها وتجديد ذكرياتها بالاستماع إلى الأصوات التي تحيط بها. تعرف خلية الكبد أنها خلية كبد عن طريق قوى تجهيزها الأولى أثناء تكوين الجنين، وكذلك لأن كل الخلايا من حولها تذكرها بصفتها الكبدية في كل لحظة من كل يوم. الخلايا فيها ترديد للنميمة، وتوبيخ واستراق سمع وجبن. الخلايا تستمع لجيرانها، وتتوعد جيرانها، وتُبقي إحداها الأخرى وهي منتظمة في الصف. يخصص ما يقرب من نصف البروتينات في إحدى الخلايا للاتصالات؛ لاستقبال الإشارات من الخلايا الأخرى وإعادة نقل النصيحة والمشورة ثانية. تعج أغشية الخلايا بالمئات أو الآلاف من بروتينات الاستقبال التي تبرز من الخلية مثل أذرع ممتدة أو سلال مجدولة أو مضارب خفق البيض. يتخذ كل نوع من بروتينات الاستقبال شكله ليحتضن جزيئًا معينًا: هرمون، أو عامل نمو، أو أغنية خاصة للخلية، وعندما يلاقي بروتين الاستقبال رفيقه المخصص له فإنه يحول شكله بطريقة موثوقة تضمن أن تسمع بالأمر كل القرية اللزجة بالأسفل. ترسل الخلايا رسائل خطية جزيئية عبر المسافات الضئيلة للمنطقة البينية في الخارج من الخلايا، وعبر الأجسام الطافية في الدم أو السائل الليمفاوي. تفرز خلايا الغدة النخامية في قاع المخ هرمونات الجنس التي تحث خلايا المبيض على المساعدة في إنضاج بويضة، أو تحث خلايا الخصية على توفير مني جديد. يوجد في الجهاز المناعي خلايا اسمها الخلايا البدينة وهي عندما تلاقي غازيًا مثيرًا للحساسية وتحكم عليه بأنه خطر — مثل بوغة فطر، أو ذرة من كحل رخيص، أو أي إنذار أحمر بالخطر — فإنها تغمر الأنسجة المحيطة بمادة كيميائية هي الهيستامين، وأى خلية في الجيرة تنعم بوجود مستقبلات هيستامين ستتفاعل لذلك ببسالة، بما يؤدي إلى تورم العينين، وتساقط إفرازات الجيوب، والعطس المتتابع، وصفير الربو مع التنفس، وهذا كله يمكن أن يجعل استجابة الجسم بالالتهاب أسوأ كثيرًا من التهديد البائس الذي أثارها.

هناك ما يتجاوز الدبلوماسية الكيميائية وهو اللجوء إلى القوة الوحشية القديمة والبارعة. الخلايا قوية، وهي كما رأينا أقوى من النمل، وتستطيع أن تصارع وتجذب بشدة الخلايا المجاورة لها، أو أنها تُبرز من سطحها زوائدها الرفيعة الطويلة المسماة بالقدميات، لتطعنها عدة طعنات حادة. يؤدي هذا التنبية الميكانيكي إلى التأثير في الخلايا المتلقية تأثيرًا يماثل كثيرًا ما يؤدي له هورمون قوي، فيعاد تنظيم الأثاث البروتيني الداخلي في الخلية وتنطلق سلسلة متتابعة من الإشارات تهرول مباشرة إلى النواة. يحدث من خلال عملية كالتدليك أن ما كان مجموعة من خلايا انطوائية لا اتساق بينها وكل منها تنشغل بأمورها الخاصة حسب معدل السرعة المفضل عندها، هذه المجموعة يمكن أن تتحول بسرعة البرق إلى حشد ملتئم الشمل متزامن الفعل ويسيطر عليه سلوك متوحد. عندما تجرح نفسك يؤدي إحساسك بالشد العنيف والمط عند الجرح إلى استثارة الخلايا المجاورة لتأخذ في الانقسام لتلتئم الثغرة. وعلى العكس من ذلك عندما تصاب الخلية بعدوى من فيروس وتبدأ برنامجها للانتحار في سبيل الفائدة الأعم للجسد، يحدث عندها تغضن سريع في غشائها وهو السمة المميزة لموت الخلية المبرمج، ويمكن لهذا التغضن أن يحث الخلايا السليمة المجاورة على أن تقتل نفسها هي أيضًا، تحسبًا لما قد يحدث لا غير.

رأى العلماء المرة بعد المرة التفكير الجماعي للخلايا وهو يحدث مفعوله واختلسوا السمع لماكينته الدعائية. عندما نستخلص خلايا الجذع من جنين مبكر لفأر ونحقنها في دماء فأر بالغ، سيعتمد مصير هذه الخلايا البريئة على المكان الذي تحط فيه. خلايا الجذع التي تأوي إلى الكبد تغدو خلايا كبد، وتلك التي تقع في قبضة عضلة تصبح خلايا عضلية، وتلك التي تقع في أسر الكلية تتعلم أن تندمج مع المجموعة. من الواضح أن خلايا الجذع المحقونة لا تتاح لها فرصة خوض التجربة المهينة للنمو الطبيعي للجنين وما يستلزمه من تغيرات وراثية تدريجية. وبدلًا من ذلك يكون على كل خلية جذع محقونة أن تتعلم مهمتها بانتشار السائل الأزموسي والمحاكاة والتلقين. عندما يتحدث ما حولها من الخلايا الأكبر سنًّا ولا يكون حديثها إلا

عن أمور الكبد — كإفراز الصفراء، وتنظيم الإمداد بالدم، واختزان الدهون والسكريات، وواجبات إزالة مفعول السموم — عندها تتشرب خلايا الجذع المعلومات المحيطة بها، وتمتص الهرمونات وغيرها من الجزيئات المخصصة لحفز خلايا الكبد، وتأخذ في الاستجابة كما تستجيب خلية الكبد. سنجد في الداخل من نواة خلية الجذع أن الدنا يعدل نفسه حسب المطالب المحددة لنسيج الكبد. لا نهاية أبدًا لمتابعة دراسة هذه الأعمال الفذة للخلية، يتطلب التخصص في الخلية تعليمًا يستمر طول العمر.

لا بد للخلايا من بذل الانتباه بوجه خاص لمجتمعها عندما يصل الأمر إلى مهمة الانقسام بما لها من أهمية بالغة. يتفق أن هناك خلايا كثيرة في الجسم مؤهلة للانقسام. النمو هو الوضع المطلوب من هذه الخلايا، والنمو هو ما تفعله إلا إذا أُمرت بغير ذلك، والكثير من الإشارات التي ترسلها الخلايا إحداها إلى الأخرى هي بالضبط إشارات لكبت النمو. وعندما تُزال هذه الإشارات الكابتة، ويقترن ذلك باستقبال الإشارات الإيجابية التي تحث على النمو، عندها فقط تدخل الخلية عملية الانقسام المحكمة التي تماثل في الإحكام تصميمًا تنفيذيًّا لرقص الباليه، مهمة تنفذها فرقة حاشدة من البروتينات الراقصة. ينفتح جزيء الدنا منفصلًا لخيطين تمامًا مثل ما يحدث عندما ينبغي قراءة جيناته، إلا أنه يحدث في هذه المرة مسح لكل هذا الجزيء الفذ الملتف طويلًا، وتُصنع نسخة تكميلية لكل البلايين الثلاثة من القواعد التي كشفت هكذا، وتحدث مراجعة لهجاء النسخة من باب الدقة، وتصحح معظم الأخطاء الهجائية، وعند هذه النقطة يمكن صنع خيط متوافق، ويُجدل معًا الزوج الوليد من الخيطين، ويصبح لدينا جزيئان من الوزن الثقيل، دنا الأم وابنتها النسخة المطابقة الطيّعة، وتُجذب الواحدة منهما إلى إحدى الزاويتين المقابلتين من النواة، وتضيق النواة بشدة عند منتصفها لتنقسم إلى فقاعتين صغيرتين، كل واحدة منهما لديها نسختها الخاصة من الدنا، وسرعان ما تحذو الخلية كلها حذو النواة. أجل، الخلايا كما أنها تحب صنع البروتينات، فإنها تحب أيضًا أن تنقسم، وهي بارعة تمامًا في أداء ذلك، بأسلوبها الجيد الإحكام. تنقسم الملايين من خلايا جسدنا

يوميًّا، وعندما تنسلخ طبقة البشرة العليا يحل محلها جلد جديد من أسفلها، وينمو شعرنا بمعدل نصف القدم في كل سنة، كما يستطيع جهاز مناعتنا أن يلاقي كل ما يواجهه تقريبًا من الكائنات والجراثيم المرضية عن طريق التكاثر المتفجر للخلايا المحاربة المناسبة للمعركة.

على أننا نعيش في العالم، وهو عالم قد يكون الأفضل بين كل العوالم الممكنة، ولكنه لا يزال غير كامل كمالًا مثاليًّا. في كل مرة تنقسم فيها خلية ويتكرر نسخ دناها تُصنع أخطاء: قد يولَج الثيمين في مكان خاص بالجوانين، أو تولج قاعدة (س) بدلًا من قاعدة (أ) في الوضع الصحيح للألف، وفي الحقيقة، ماذا يمكن أن نتوقع في سياق نسخ نص كيميائي طوله ثلاثة بلايين حرف نووي، حروف لو كانت حروف طباعة لربما ملأت خمسة آلاف كتاب بحجم هذا الكتاب؟ تكتشف البروتينات التي تقرأ المسودات معظم أخطاء إعادة نسخ الدنا وتصححها قبل أن ينتهي انقسام الخلية، إلا أن قلة من هذه الأخطاء تفلت من التصحيح، ويكون معظمها بلا أهمية، لأنها تقع في مناطق من الجينوم لا ضرر منها. على أنه يحدث أن تغفل الأنظار عن طفرة خطيرة — وهذا نادر جدًّا — فيصل إلى النص النهائي للدنا في الخلية الابنة تغيير في الشفرة ينتج عنه منتج بروتيني فاسد مختل وظيفيًّا يوجد في مكان ما على الصف. وأشد هذه البروتينات فسادًا تكون إلى حد بعيد تلك التي «تحرر» إحدى الخلايا من قيود المجتمع، ذلك لأنها بروتينات تحول الخلية لتغدو خلية سرطانية. خلية السرطان خلية لديها صمم فلا تسمع الإرشادات الكيميائية الآتية من حولها ولا تبالي بقذائف وارتجاجات جيرانها. وهي لم تعد في حاجة إلى حافز هرموني من الخارج لترسيخ محتواها من بروتينات إعادة النسخ وإنما تصنع مجموعة من البروتينات وترسخها تلقائيًّا، ثم تصنع المزيد والمزيد وتحتفظ بهذه أيضًا. ربما تكون المستقبلات التي تبرز من سطح خلية السرطان خالية اليدين في أعلى، إلا أن سيقانها السفلى لا تزال تهتز وتنحني في السيتوبلازم بأسفل وترسل موجات صدمة تعبر إلى النواة مع أمر بالنمو، والنمو والنمو. يوجد على الغشاء الخارجي للخلايا الطبيعية طبقات لزجة تحفظ الخلايا السليمة

متماسكة معًا، إلا أن هذه الطبقات تتزايد ضعفًا في الخلايا السرطانية حتى تصبح هذه الخلايا غير ملتصقة، بما يتيح لها أن تنتقل إلى حيث تشاء، وعندما تستقر الخلايا المتمردة في أرض جديدة تظل لا تسمع شيئًا من النسيج المحيط، وتستمع فقط لهسيسها الخبيث الداخلي وهو يقول لها: أنت خلية ويجب أن تَبقي حية، وحتى تبقي حية يجب أن تنقسمي. إلا أن هذه رسالة زائفة، ذلك أنه في حالة الانقسام بلا كابح، وفي هذه الحالة من الحتمية الوراثية الأنانية تقتل الخلية الجسم، ومع قتل الجسم تقتل نفسها أيضًا.

الخلايا الطبيعية التي نعيش بها والتي تلتزم بالقوانين وبقواعد تناغم الوجود المتعدد الخلايا هي خلايا تعطي المثل للتوازن الحركي الذي يُعْمِل فعله دائمًا بين الخلية وأوضاعها، أو يسوي الوضع — بما هو أبعد — بين الدنا والبروتينات المحيطة به. يتذمر الكثيرون من البيولوجيين من طريقة إساءة فهم الدنا إلى حد خطير، بنزعه من سياقه في الخلية، ومطالبته بإعطاء الإجابات عن كل شيء: السرطان، مرض القلب، نوبات المزاج السيئ، اختيار القرين. يتحدث الناس عن الجدل حول الطبع إزاء التطبع، ويريدون أن يعرفوا أي قدر من هذا الشخص أو ذلك الشيء يمكن إرجاعه «للطبع» الذي ينظر إليه عمومًا كمرادف لدناهم، أو مواصفات شفرتهم الوراثية، ويريدون أيضًا أن يعرفوا أي قدر يرجع إلى «التطبع» أو «البيئة» التي تدل عادة على «العالم الخارجي» غير المنتظم الذي يتميز بمتغيرات مثل ممارسات تنشئة الأطفال وتحيزات والديهم، أو ما إذا كانوا قد التحقوا في مرحلة ما قبل المدرسة بأماكن راقية مكلفة أو قضوا سنوات تكوينهم فوق ركبة المربية كما في أفلام نيكلديون الكرتونية. كافح العلماء بقوة ليستقر لدى الجمهور الانطباع بأن «الجدل» عن الطبع والتطبع شيء قد مات، وأنه منذ البداية كان قضية بلا وجود وغير علمية، شيء ضخته ودعمته وسائل إعلام تهوى دائمًا الصراعات وسباق الخيل. قال لي ذات مرة ستيفن جاى جولد بنغمة حزينة: «من المؤسف أن هناك تشابهًا لغويًّا بين «الطبع» و«التطبع»، ذلك أن مجرد تناغم وقعهما في الأذن قد ساعد على وجود هذا الجدل المضلل

السيئ الصيغة.» يصمم جولد وغيره من العلماء الآخرين على أننا لا يمكننا أن نفصل الطبع عن التطبع مثلما لا نستطيع أن نفصل طول المستطيل عن عرضه. ويقول جولد: «إنه توحد حقيقي في التأثير، فمن المستحيل أن نفصلهما منطقيًّا أو رياضيًّا أو فلسفيًّا.»

نتيجة لكل هذا التأكيد على الترويج علميًّا لمنظور تفاعلي هو ليس بالمنظور الجدلي، فإنه عندما يصل الأمر إلى تشريح جذور الطبيعة البشرية تكون النتيجة أن نصل إلى انطباع صحيح دقيق وإن لم يكن بالانطباع العميق عمقًا شديدًا، انطباع يقول لنا عجبًا، من الممكن القول إن دنا المرء وطريقة تنشئته هما معًا يعملان في تشكيل شخصيته. والحقيقة أن هناك صلة لا تنفصم بين الاثنين، بين التعليمات المشفرة في تفاصيلنا الجينومية، في دنانا، وبين تنفيذ وتفسير هذه التعليمات في الزمن الواقعي، وهي صلة عميقة ومغروسة في أعماق كيمياء كل خلية في جسدنا. قد يكون من الممكن أن نطلق على الدنا أنه الجزيء الموجه، ولكنه لا يستطيع أداء شيء من غير عون ويجب أن يعيش عن طريق البروتينات التي تساعده، وهذه البروتينات يصغى أحدها إلى الآخر إصغاء دقيقًا مستمرًّا، كما تصغي إلى العالم المحيط بها، سعيًا لأي مفاتيح تشير إلى ما ينبغي عليها أن تفعله لسيدها الموجِّه. البروتينات عندما تستمع للإشارات الخارجية وتعيد التوجه للدنا قد تؤدي أحيانًا إلى أن تغير من صميم خواص الجينوم، بأن تغير بحذق من الجينات التي تنشطها، ومدى قوة تنشيطها، في زمن معين يحدث فيه ذلك. الطبع يحتاج إلى التطبع، والتطبع يعجن الطبع، ولا ينتهي أبدًا ما بينهما من حوار فيه اعتماد مشترك لكل منهما على الآخر. هذا حال يتواصل في كل مكان من داخلنا. الناس كثيرًا ما يكون لديهم انطباع بأنه إذا كان هناك شيء «مشفر في الدنا الخاص بهم» فلا بد أنه ثابت ولا يمكن الوصول إليه. ويعتقد الناس أن البيئة بعكس ذلك يمكن تغييرها بسهولة، إلا أن هذا انطباع مضلل؛ فالجينوم ليس معزولًا عن المحيط الذي يوجد به. كل خلية تشكل مثوى بيئيًّا مصغرًا مجنونًا مثل مانهاتن، وكل جينوم يلعب دورًا فيها. الجينومات ذات استجابة، ومفتوحة للتغيير والتعديل.

الصناعة الدوائية تحب في الحقيقة أن تتعامل مع هذه المرونة الجينومية، لتصميم أدوية تذهب مباشرة إلى مصدر الشفرة في خلية المريض، وتحل ما يوجد من مشاكل بأن تضبط ضبطًا دقيقًا التعبير عن الجين؛ فتحث الكبد على أن يصنع المزيد من الكولسترول عالي الكثافة، أو الكولسترول الحميد، وأن يقلل من صنع الكولسترول «الضار» الموجود في البروتينات الدهنية المنخفضة الكثافة، أو تحث نسيج العظم على أن يعيد تشكيل نفسه ليلتئم عظم حوض مكسور، أو تحث المخ على أن يوفر الإمداد بالمزيج الأمثل من المواد الكيميائية العصبية التي تقهر الاكتئاب واليأس والإحساس المزمن بالعجز، وهو إحساس قد يكون له مبرر أو لا يكون، ولكنه دائمًا إحساس كريه. ولماذا لا نتخلص أيضًا من معاودة الكوابيس ليلًا، مثل كابوس وقوف المرء على المسرح وقد ارتدى زي الفزّاعة أو خيال المآتة كما في رواية «ساحر أوز»[١٩] ثم لا يتذكر سطر المسرحية الذي يلي قوله: «سوف أرقص وأمرح ...»

يا له من يوم عندما نستطيع أن نتحدث حديثًا من القلب إلى القلب مع عصبوناتنا وأن نعد أدويتنا بحيث تكون ملائمة تمامًا لجينوماتنا. ويا له من يوم لو أصبح لدينا حصافة الكبد، ودهاء خلية واحدة. أجل يا صديقي، الحياة ستكون ... أغنية مرحة كرنين الأجراس! كما يغني أبطال ساحر أوز: «لو كان لدينا أمخاخ فقط».

[١٩] «ساحر أوز»: فيلم موسيقي أمريكي مشهور عرض أول مرة عام ١٩٣٩م، ويدور حول حلم تلميذة من كانساس بحياة أفضل، وترى في حلمها أنها ترحل مع كلبها إلى أرض الساحر أوز، وتلتقي أثناء الرحلة بخيال مآتة يطلب مخًّا، ورجل صفيح يطلب قلبًا، وأسدًا جبانًا يريد الشجاعة، وبعد مغامرات عديدة تقتنع بأن موطنها الأصلي في كانساس هو أفضل مكان للعيش. (المترجم)

الفصل الثامن

الجيولوجيا

تخيل أجزاء العالم

عندما تعيش في واشنطن عاصمة الدولة حيث كل نصب تذكاري مجيد للحرية مطوق بالحواجز الخرسانية لحمايته، وحيث يقاس الوضع الاجتماعي، ليس حسب مقدار المرتب المدفوع للمرء أو حجم سيارته الليموزين، وإنما حسب تفاصيل تقرير المخابرات عنه، ستكون قد تعودت على تخيل كل أنواع الكوارث. سيبدو عندها أن طائرة ورقية يلعب بها طفل هي أداة لتوزيع جراثيم مرض الجمرة على نحو معقول تمامًا. وعندما تزعق سيارة نقل لتتوقف عند تقاطع، مع أن ضوء علامة المرور لا يزال بلونه الأصفر، فإن من المؤكد أنها تحوي قنبلة قذرة.[1] وأي رجل يرتدي معطف مطر ضخم لا يلائمه من محلات بروكس برذرز فإنه سيبدو مثيرًا للشك، وكذلك سيبدو أي رجل «لا» يرتدي معطف مطر ضخم لا يلائمه من محلات بروكس برذرز مثيرًا للشك.

أجل، عندما تكون في واشنطن العاصمة وضواحيها، ستتعلم أن تفكر فيما لا يُفكَّر فيه، وأن تكون مستعدًا لنطاق واسع من الأحداث الطارئة،

[1] القنبلة القذرة: قنبلة تجمع بين مواد مشعة ومواد متفجرة عادية، ويقصد بها الإقلال من منطقة الإشعاع مع إثارة بلبلة نفسيه بالذعر منه. حتى سنة ٢٠٠٨ لم تستخدم أي قنبلة من هذا النوع. (المترجم)

عن طريق تخزين الأشرطة اللاصقة، والصابون المعلّب، ومزيد من مهاد القطط الذي يمتص الروائح الكريهة. على أن هناك شيئًا واحدًا تكاد لا تنزعج بشأنه، إنه الزلزال. هذا هو السبب في أنني أثناء عملي في مكتبي في أصيل يوم من الربيع، عندما شعرت بأن المنزل أخذ يهتز ويترنح، فكرت في أي شيء ما عدا الزلزال: ففكرت في هجوم إرهابي، وفي دبابة «أبرامز» ضخمة تمر عابرة، وفي جاري وكلبه الضخم ومجموعة أدواته المزعجة التي يستخدمها مع الحشائش، وجاري هذا يشغّل ماكينة نفخ أوراق الشجر ليلًا في المطر لأن هذا — كما تلطف وشرح لي — أمر يمكنه القيام به.

ولكن مع استمرار الاهتزاز، أدركت أني أشعر بالإحساس نفسه الذي شعرت به فيما سبق عندما كنت أعيش في سان فرانسيسكو، وأن هذا لا يمكن أن يكون إلا زلزالًا. ظل المنزل يهتز لما يقرب من نصف الدقيقة، بينما بقيت أنا جامدة ساكنة في مقعدي، وأنا في وضع آمن تحت مروحة سقف كبيرة. حاولت ألا أصاب بالهلع. حاولت ألا أفكر في أغنية كارول كنج «أحس بالأرض تتحرك تحت أقدامي»، ولكن هذا كان متأخرًا للغاية وربما يكون الآن متأخرًا أيضًا بالنسبة للقارئ. آسفة! في النهاية، عندما تأكدت على الأقل من أن الجزء المهتز من الأزمة قد مر، هاتفت زوجي في مكتبه في وسط مدينة واشنطن، على بعد ما يقرب من ستة أميال.

قلت لاهثة: «هل شعرت بذلك؟»

«شعرت بماذا؟»

قلت له: «حسن، لن تصدق ذلك؟ ولكني واثقة تمامًا أننا قد وقع لنا حالًا زلزال».

«إنك تتناولين دواءً جديدًا حاليًّا يا عزيزتي، أليس كذلك؟»

غمغمت لاعنة، أو أنني ربما سببت بلفظ ما، ووضعت سماعة الهاتف، وأخذت أنعم لفترة وجيزة بدفء الإحساس بسخط له ما يبرره أخلاقيًّا. بعد مرور لحظة، اتصل بي زوجي ثانية، وقال: «أنت على حق.» كان قد رأى في الحال برقية مرت به، تسجل وقوع زلزال امتد من أجزاء في فرجينيا حتى ماريلاند حيث نعيش، ومقياس الزلزال ٤,٥ من درجات ريختر. غامرت

بالخروج إلى البهو، ورأيت أن كل الصور المعلقة على الجدران كانت مائلة، وأن إحداها على وشك أن تقع مصطدمة بالأرض، وهي رسم لامرأة يمكن أن يخطر بالبال أنها تشبه كثيرًا المغنية كارول كنج.

العاصمة ليست منطقة تتعرض لكثير من الزلازل. فهي ينقصها ما يوجد في كاليفورنيا من خطوط تصدع نشطة متلاصقة، وينقصها ما في هاواي من حمم البراكين المألوفة بتكررها، وينقصها البراكين الملتهبة الموجودة في واشنطن الأخرى: واشنطن الولاية. على أنه يحدث من آن إلى آخر أن موقعًا هادئًا لا يُعرف عنه أن فيه عوامل خطر جيولوجية لا يلبث أن يهتز هزة حادة صغيرة مطالبًا بأن يهتم به علماء الأرض بعض الاهتمام. تعطي الرجات والرجفات المتقطعة أدلة واضحة على مبدأ جيولوجي يستحق حقًّا أن يسمى مبدأ «صخر الأديم»: فالكوكب الذي نقطنه، والذي يعد الأساس أو صخر الأديم الذي نبني عليه حياتنا، هو أيضًا بأحد المعاني العميقة كائن حي، له حيويته من طرفه إلى الطرف الآخر ومن قلبه حتى جلده. الأرض كما قلت فيما سبق كثيرًا ما تسمى بأنها كوكب كالفتاة «ذات الشعر الذهبي» في القصة المشهورة، حيث الظروف مناسبة بالضبط للحياة وليست أكثر سخونة مما ينبغي ولا أكثر برودة مما ينبغي، وحيث الذرات لها الحرية في تكوين جزيئات وقطرات ماء تتجمع في بحار. هناك سمة أخرى عند فتاة الشعر الذهبي، بخلاف ذوقها كثير المطالب، وهي سمة تجعل منها شخصية لها أهميتها، وجديرة بتركيز انتباهنا عليها. فهذه الفتاة لا تستطيع أن تبقى ساكنة. فهي قلقة ومندفعة ووقحة بما يذهل. إنها تطوف في الغابات من غير أن تذكر لأحد أين يكون توجهها أو متى ستعود إلى البيت. وهي تقتحم الأبواب من غير دعوة، وتدعو نفسها لأكل طعام أي فرد آخر، وتحطم الأثاث. ولكننا لا نستطيع أن نلومها على ذلك. فهي لا تستطيع أن تتمالك نفسها. فتاة الشعر الذهبي فتاة عديمة الخبرة وبارعة للغاية حتى إنها لا تملك إلا أن تطلق بعضًا من طاقتها. الأرض الذهبية الشعر مثلها كالفتاة بطلة القصة، فهي تولَد وكأنها مولّد «الدينامو» بالفطرة، وهي بدون ما تحدثه دائمًا من انتفاضات، وهمهمات، وتواثبات، وبدون

ما فيها من حيوية جوهرية، بدون هذا لن يكون لديها أي محيطات، أو سماوات، أو حواجز واقية ضد هياج الشمس كهرومغناطيسيًّا هياجًا ثائرًا؛ كما أننا نحن الكائنات الحية، نحن حاملي دنا؛ ما كنا أبدًا بدون ذلك سنتمكن من أن نستجمع أنفسنا لننهض من فوق الأرض. على أن الحركة في هذه العمليات لم تحدث في اتجاه واحد. ذلك أن حركات الرفع والشد القلقة للكوكب قد ساعدت على أن تنبثق الحياة، وهذه الحياة القلقة أدت بدورها إلى إعادة تشكيل الأرض.

يقول أندرو نول بجامعة هارفارد: «إننا نفهم الآن أن الأمر ليس ببساطة أن الحياة تتكيف مع ما يحدث من تغيرات فيزيائية، ولكن الحياة نفسها تساهم في تطور البيئات. أحد المواضيع الكبرى في تاريخ كوكبنا هو كيف حدث بطول الزمن تشارك للتطور الفيزيائي والبيولوجي للأرض.»

عندما يكون موضوعنا هو العالم كله، فسيكون من المفيد أن نحيط جيدًا بأموره كلها، والجيولوجيون يعتبرون أنفسهم الذروة النهائية لأتباع مناهج المعرفة البينية. وهم يجرون أبحاثًا ميدانية، وأبحاثًا معملية، وينتحلون أشياء من علوم الكيمياء، والفيزياء، والإيكولوجيا، والميكروبيولوجيا، والنبات، والباليونتولوجيا، ونظرية التركّب، والميكانيكا، وبالطبع صنع نماذج بالكمبيوتر؛ يتنافس الجيولوجيون مع كيميائيي البروتين في إنتاجهم لمخططات نابضة بالحياة تتولد عن الكمبيوتر ويمكن معالجتها بعوامل متعددة في حيز ثلاثي الأبعاد، كما يصنعون أيضًا برامج رائعة جدًّا لحماية الشاشة. يحب الجيرلوجيون العمل في الهواء الطلق وهم يحصلون على شرائح من الصخور، ويتواثبون بسعادة من شفا جرف إلى الآخر، ويكتسبون ببطء لون بشرة من نوع ما تكسبه وسائل التجميل من منتجات «سِلِم جيم». كثيرًا ما ينجذب الجيولوجيون إلى مناطق لها جمال طبيعي هائل، وإلى مناطق تتفاوت من حيث درجة الأمن فيها: براكين نشطة، خطوط صدع نشطة، حدود جبلية بين دول تتقاتل في حروب متقطعة. قد تجذبهم أيضًا أحداث غير طبيعية تؤذي رؤيتها العين. عندما يُفجَّر نفق جديد في منحدر جبلي

فيحط الجيولوجيون على الموقع سعيًّا وراء فرصة لدراسة الآفاق الواسعة لتاريخ الأرض التي تكشفت هكذا إلى حين، وإذا كان الأمر ضروريًّا فإنهم قد يتحايلون على قصر الوقت بأن يقذفوا بطلّابهم في مواجهة أي شيء حتى ولو كان خلاطات أسمنت.

بالنسبة للجيولوجيين فإنهم يرون أن أي حجر فيه إمكان لأن يكون «كحجر رشيد» فيكون فيه مفتاح للحظة تعد علامة طريق مميزة في تاريخ الأرض، وإذا صحبت أي جيولوجي في السير خلال متنزه فإن هذا يعني ألا يُترك حجر دون تقليبه أو ألا يترك بروز لصخرة فوق سطح الأرض دون دراسته. كنت أتمشى بعد ظهر يوم من صيف بارد بدرجة غير عادية كنت أتمشى في مشتل «أرنولد» العلمي مع البروفيسور كيب هودجز الأستاذ وقتها بمعهد «ممت»، وتوقف هودجز عند صخرة في ارتفاع الفخذ بدت وكأنها كتلة متصلبة من عجين كعك وأخذ يشرح لي خلاصة قصتها. قال لي: «هذه صخرة من النوع الذي نشير إليه عادة بأنه مجمع من مصادر عديدة، فهي ببساطة صخرة فيها أجزاء من مواد مختلفة.» قال ذلك وهو يشير إلى أجزاء مطمورة فيها بدت كثمار الجوز أو رقائق من شكولاتة بيضاء يشوبها لون رمادي. «لاحظي أنه في هذه الحالة هناك أجزاء من أحجام مختلفة، وهي محاطة بالكثير من الحبيبات الدقيقة، وكأن هذه الأجزاء قد رُمي بها فحسب وأحتُبست في مكانها.» مر بيده على سطح الصخرة، وحذوت حذوه. كان ملمسها باردًا للغاية مع الإحساس بالكثير من النتوءات. وقال هودجز مفسرًا: عندما ترين خليطًا هكذا من مادة دقيقة محببة ومادة كبيرة الحجم يكون أكبر احتمال أن الصخرة من أصل جليدي. اتخذ مجلسه فوق الصخرة، وتبعته وأنا أقل حماسًا عنه. إنها مليئة جدًّا جدًّا بالبروزات وأصلها هكذا جليدي على نحو يكاد يكون حاسمًا. الكتل الصغيرة المطمورة الآن في صخرتنا تعطي لنا المثل لهذه الحالة، ربما تكون هذه الكتل الصغيرة قد نُقلت فوق لوح زاحف من الجليد؛ ثم ذاب الجليد وأصبحت الصخور مدموجة في الراسب القابع بأسفل. ويقول هودجز: «السؤال التالي إذن، هو متى حدث هذا كله؟»

وشرح لي بعدها التحدي الكبير عند محاولة تحديد عصر للصخرة. وهي مهمة تتطلب بين خطوات أخرى أخذ عينات من كل جزء صغير مطمور لقياس التركيز النسبي للعنصر الاستشفافي المشع مثل اليورانيوم والثوريوم. على أنه ثبت أن ما بذل من جهد هكذا كان مثمرًا إلى حد استثنائي. ثبت أن الصخرة التي اتخذنا مجلسنا عليها عمرها من ٥٧٠ إلى ٥٩٠ من ملايين السنين وهي واحدة لا غير من صخور كثيرة مثلها اكتشفت في أماكن مختلفة في العالم. عندما تؤخذ هذه المعلومات مع نتائج الأبحاث المتعلقة بها نجد أن عمر وتوزيع هذه الصخور يطرحان أن هناك عصرًا جليديًّا غير معروف حتى الآن بالغًا في القدم واتساع المدى. وهذا فرض يتابع الآن الكثيرون من الجيولوجيين دراسته. يقول هودجز وهو يربت بإعزاز على الصخرة: إن هذا كله يثبت عمليًّا المبدأ الأول في العمل الميداني عند الجيولوجيين — وهو أن الجواهر الحقيقية في المشهد الخلوي كثيرًا ما تكون تلك الحجارة التي تبدو كأبسط ما يكون. هذا درس تعلمته من جلستي ببنطلوني القطني الرقيق السمك.

يقول أندرو نول: «نحن نعيش فوق كوكب يسجل بنفسه تاريخه الخاص به». كثيرًا ما يعتريني الذهول وأنا أقود سيارتي عبر يوتاه، عندما أرى هذا التاريخ الرائع وهو يتكشف أمامي، ولا يحتاج المرء لأن يكون من العلماء ليكتشف ذلك. عندما تُبقين عينيك مفتوحتين أثناء اجتياز «جراند كانيون»، فسترين الحفريات. إذا توقفت عند أي تقاطع في الغرب الأوسط أو نظرت إلى أرضية أي من معظم الكاتدرائيات في أوروبا، فسترين حفريات. من الصعب عندما يكون أحد التائبين في العصور الوسطى راكعًا فوق ركبتيه، ألا يلتقي بإحدى الأمونيات[٢] في كل خطوة في الطريق.

لكن الأرض رغم كل النصوص المنقوشة على سطحها يمكن أيضًا أن تكون صامتة كالبغل العنيد إزاء بعض مواضيع الأبحاث، مواضيع تبدو قريبة المنال وهي فيزيقيًّا تكاد تكون مما لا يمكن اختراقه. أعمق ما ثقب من

---

[٢] الأمونية: صدفة متحجرة لطائفة من الرخويات ذوات الرءوس القدمية، والصدفة تلتف عادة في شكل حلزوني. (المترجم)

الثقوب في الأرض يصل عمقه إلى ٧,٦ من الأميال، وهذا مجرد جزئين من الألف من المسافة إلى قلب الكوكب الداخلي الحارق. معظم ما يعرفه الجيولوجيون عن الداخل من الأرض قد أدركوه بطريقة غير مباشرة. الجيولوجيون وهم في المعمل يسخنون الصخور، ويعتصرون الصخور، يعتصرونها إلى حساء حجر، ويرسمون خريطة التغيرات في سلوك الصخور وخصائص التوصيل فيها مع كل شكل جديد من أشكال تعرضها للإساءة من العلماء. وإذ يتسلح الجيولوجيون بهذه المعلومات فإنهم يتمكنون من الاستفادة بأكبر ما يمكن من كل ما يلقاه الآخرون من أيام البلاء. عندما يقع أحد الزلازل، يرصد الجيولوجيون بأعظم دقة ممكنة كيف تنداح موجات الطاقة خارجة من نقطة بؤرة الزلزال — سرعة الموجات واتجاهها، والانخفاض النسبي لحجمها عبر المسافات، وأيًّا مما يتسق معها من إضافات أو أصداء. يستطيع الباحثون هكذا مقارنة خواص هذه الموجات الزلزالية مع ما تعلموه من خواص التوصيل عند أنواع الصخور المختلفة وهي في حالة الصلابة وحالة الانصهار. وبكلمات أخرى، نجد أن الزلازل تشبه صورة أشعة بموجات فوق صوتية، ذلك أن أشكال أمواج الطاقة الزلزالية تقدم لنا مدخلًا إلى الأعضاء الداخلية للإمبراطورية الموجودة أسفل.

يشكو الجيولوجيون أحيانًا من أننا نكرس وقتًا وجهدًا لاستكشاف الكواكب الأخرى أكثر مما نكرسه لكوكبنا، وقد دفعهم هذا إلى طرح علاجات متطرفة لهذه الفجوة المعرفية. مثال ذلك أن دافيد ستيفنسون من معهد «كالتك» يطرح أن نصنع شقًّا رفيعًا يهبط مباشرة إلى النقطة الوسطى من الأرض ثم نرسل مجسات لأخذ عينات من القلب مباشرة، وقد نشر هذه الفكرة في المجلة العلمية «نيتشر» تحت عنوان ساخر هو «اقتراح متواضع» وكأنه يتبع الأسلوب الساخر لجوناثان سويفت مؤلف «رحلات جليفر».

قال لي ستفينسون: «كنت إلى حد ما أمزج الجد بشيء من السخرية، ولكني أردت أن يدرك الناس أن هذه فكرة قد لا تكون سخيفة تمامًا. من الممكن في المقام الأول أن يكون صنع الشق أمرًا صعبًا، ولكننا بمجرد أن نبدأ في صنعه فإنه سينتشر بتأثير الجاذبية.»

مهما كانت القيود التقنية التي تثير حنق الجيولوجيين فإنهم قد قطعوا شوطًا طويلًا منذ تخيل جول فيرن[٣] مركز الأرض كخزانة لحفظ النفائس، مليئة بالحيوانات المنقرضة كالماستادون، والاكثيوسور، والبليوسور. حيوانات من مسوخ الرئيسيات الرهيبة وغيرها من حيوانات القائمة السوداء للطبيعة. وهي تتخذ طريقها فيما حولها بما يشبه التوهمات الخيالية في القرن الخامس عشر للأخ الراهب الطيب سافونا رولا[٤] الذي يتنفس نافثًا النيران.

نحن جميعًا على دراية بفكرة أن سطح الأرض قد تكسر إلى قطع، أو إلى ألواح تكتونية، وأن تحركات هذه الألواح لها علاقة بالزلازل، وتفجرات البراكين، والحجر الخفاف[٥] الذي تجده الآن في زاوية من حمامك وقد تجمعت فيه بوغات الفطر. عندما نلقي نظرة سريعة بسيطة على نموذج كرة أرضية فوق سطح المكتب ستكشف لنا هذه النظرة عن أن هذه الألواح كانت تتزاحم معًا لبعض الوقت: تبدو أمريكا الجنوبية وأفريقيا وكأنهما قطعتان متوافقتان من قطع لعبة لغز تشبيك الصور، قطعتان كانتا ذات يوم متشابكتين معًا ولكنهما ما لبثتا بعدها أن تفرقتا وتبعثرتا على الأرض، تمامًا كما يحدث عندما لا تحفظ بعيدًا القطع الألف المتشابكة لصورة لتوقيع إعلان الاستقلال، وتتبعثر قطع الصورة وتجد الآن أن ريشة جون هانكوك للكتابة هي والفخذ الأيمن لجون آدم قد ضاعتا إلى الأبد. ما لا يعرف على نطاق واسع هو السبب في هذه التحركات القارية المزمنة، وهذه الاصطدامات وأصوات الصرير الخشن لأحد الألواح إزاء الآخر. يجب أن أذكر عند هذه النقطة أن من المخجل أن اللاهوتيين المسيحيين العظام قد استغنوا من وقت طويل عن فكرة أن الجحيم مكان محدد متجسد، ساخن ومقرف جدًّا يقع عميقًا تحت الأرض، ووضعوا مكان هذه الفكرة استعارة مجازية مترهلة لتتفق مع القول بأن «الجحيم صحراء روحية يقطنها الإنسان عندما

---

[٣] جول فيرن (١٨٢٨–١٩٠٥) كاتب فرنسي ألف روايات خيال علمي كثيرة تحقق الكثير مما ورد فيها. (المترجم)

[٤] سافونا رولا جيرولامو: (١٤٥٣–١٤٩٨م) راهب ومصلح ديني إيطالي شن حملة على فساد أخلاق رجال الدين في عصره. (المترجم)

[٥] الحجر الخفاف: حجر بركاني خفيف للغاية، مليء بالنخاريب ويستعمل في الصقل وتنعيم البشرة. (المترجم)

يبتعد عن الرب». وبالصدفة فإنه «يوجد» حقًّا جحيم ثائر مدفون على بعد ١٨٠٠ من الأميال تحت الأرض، هذا جحيم حقيقي في كوكب الأرض، وهو ليس إلا القلب من كوكبنا، هذه الهوة المحرقة — منتجع الشيطان حيث يجمل أظافره — هي كرة من لهب مشتعل في حجم المريخ تقريبًا، يتكون ٩٠ في المائة منها من الحديد والباقي في معظمه من النيكل، وتحترق هذه الكرة بحرارة من ١٠٠٠٠ درجة فهرنهيت بما يقرب من سخونة سطح الشمس. ظل قلب الأرض يغلي باستمرار منذ تماسك كوكب الأرض، مع سخونة أحجار لا تكاد تهدأ، ولم يبرد قلب الأرض إلا بثلاثمائة درجة فقط عبر الملايين الأربعة من السنين الماضية. تخلف معظم هذه الحرارة عن حالة السخونة الشديدة كالمرجل في المنظومة الشمسية المبكرة، كما نتجت عن التحول المحتوم لطاقة الوضع إلى طاقة حرارية، وهو تحول يحدث عندما تشد الجاذبية الكثير من المادة المبعثرة لتغدو كرة كوكبية مدموجة. باقي الحرارة توفره المستودعات الثرية للعناصر المشعة غير المستقرة مثل اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم، وهذه العناصر أثناء اضمحلالها تطلق الطاقة في محيطها، أي في وعائها الأرضي الذي يغلي، وهكذا يستمر تقليب القِدر. الأرض غنية على نحو استثنائي بالمواد المشعة، وما يصحبها من طقطقات وطقطقات محمومة وفرقعة لذرات العناصر الثقيلة وهي تتحلل، مع ما يصحب ذلك من سخونة القلب الأساسية، هذا كله يفسر السبب في أن كوكبنا كوكب يتغير متبدلًا على هذا النحو، ويعرض نشاطًا جيولوجيًّا وتقلبًا في طبقة بشرته، وفي تشريح سطحه، وهو يعرض هذا بدرجة أكبر مما في كل كواكب المنظومة الشمسية الأخرى مجتمعة. كان من المعتاد في المريخ أن يكون له مظهر جيولوجي مشابه، قلب حارق يؤدي إلى حدوث ارتفاع في سطح الأرض على نطاق واسع — قشرة متشققة، براكين تلفظ الرماد والغاز. لكن المريخ أصغر من الأرض صغرًا له قدره، وفيه منذ البداية ما هو أقل كثيرًا من الحرارة الداخلية والمواد القابلة للانشطار، وقد أصبح فرنه باردًا منذ بليون سنة تاركًا الكوكب وهو نسبيًّا كعالَم كسلان متراخ، ووجهه المرهق المليء بالحفر قد استقر إلى حد كبير وفقًا لمساره الخاص.

الأرض على عكس ذلك بارعة يستحوذ عليها ولعها بعمليات التجميل، فهي مزيج من مريض لا ينفك يعاوده مرضه، وطبيب غير عادي، دُمجا معًا في واحد. هل تعتقد أن الهند تبدو جيدة هكذا ووجنتها في مقابل فك مدغشقر؟ ألا ترى ذلك؟ إذن ما رأيك في أن نخيطها بالصين؟ وماذا عن أستراليا: هل ستكون أفضل هناك بالأسفل مدموجة مع أنتاركتيكا، أم أنها أفضل وهي كزهرة تنبثق وحيدة في المحيط الهندي؟ أو لعلك تفضل أن تنزلق بها شمالًا ثم إلى داخل اليابان؟

لن تتوقف هذه العمليات الجراحية لأن الأرض محرك بمرجل حراري هائل، والأشياء الساخنة تناضل دائمًا أبدًا لتبرد من سخونتها. يقول دافيد بيركوفيتشي أستاذ الفيزياء الجغرافية في جامعة ييل إن أفضل طريقة للتفكير في حال كوكبنا هي أنه: كرة ساخنة تحاول أن تطرح طاقة حرارية في الفضاء. وعلى كل فإن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يتطلب نقل الحرارة هكذا. الحرارة يجب أن تنتقل من نقطة دافئة نسبيًّا إلى نقطة باردة نسبيًّا. تقرب درجة الحرارة في قلب الأرض من ٦٠٠٠ درجة بمقياس سلسيوس. الفضاء الذي تندفع فيه الأرض تقرب درجة حرارته من (–٢٧٠) درجة سلسيوس. إذن فإن القلب يواصل طرح حرارته بعيدًا. هيا اخرجي من هنا سريعًا، إلى ثقب بالوعة الفضاء البارد، حيث تنتمين. آه، لكنه ليس من السهل دائمًا أن يكون السلوك حسب القواعد. الإمدادات تحت الأرضية من اليورانيوم والثوريوم تواصل ضخ الحرارة في هذا الخليط، وليس هذا فحسب وإنما نجد أيضًا أنه عندما تنتقل التيارات الحرارية من القلب خلال الأجزاء الكثيفة من باطن الأرض، فإنها لا بد أن تمر خلال آلاف الأميال من مناطق كثيفة من الصخور والمعادن والعجائن وحلوى البودنج الطرية، ثم تتصاعد خلال القشرة العازلة الرفيعة الهشة، وهي طول الوقت لا تعرف أبدًا كيف ستتفاعل المواد التي تتأثر بمفعولها وتسعى هي إلى النفاذ منها — هل ستنكمش، أم تتقوض، أم تتصدع، أم تنتفخ إلى الخارج كالبالون؟ هذه تحديات حقيقية. ولكن هذا هو ما عليه عالمنا: هناك حرارة في الداخل، وهي تريد أن تنطلق إلى الخارج.

يقول بيركوفيتشي: «يماثل الأمر ما يحدث في قدح القهوة. يحاول كل شيء أن يصل إلى التوازن مع الفضاء الهائل البارد الخاوي. وفي أثناء عملية تحولها إلى باردة وغير صالحة للشرب فإنها تقوم بجميع أنواع التصرفات الباردة.»

ما هو نوع الأشياء الباردة التي قد يؤدي إليها انتقال الحرارة؟ هيا نشق العالم مفتوحًا وننظر إلى داخله.

سنجد — كما سأناقش بتفصيل أكثر في الفصل القادم عن علم الفلك — أن الأرض قد تكثفت منذ ما يقرب من ٤,٥ بليون سنة من حلقة من الصخر والقذر تخلفت بعد تكوين الشمس، وهي نفسها تكونت نتيجة لسحابة غازية كبيرة لبت نداء الجاذبية للانضغاط. تشكلت الأرض والكواكب الأخرى بسرعة كبيرة بالمقاييس السماوية، بحيث تزايدت كتلتها بصورة تراكمية واتخذت الشكل الكروي (وهذه هي النتيجة الهندسية المتوقعة عندما يحدث لكل جزء على سطح أحد الأجرام أن يُشد شدًّا متساويًا تجاه المركز بواسطة الجاذبية) وقد تم ذلك في زمن قليل يتراوح بين عشرة ملايين إلى خمسة وثلاثين مليون سنة. كانت هذه الأيام المبكرة أيامًا صعبة، بلا قانون. انتثر وقتها في السماء فيما بين الكواكب مذنبات، وكويكبات، وغير ذلك من نفايات خارج النجوم، وكانت مسارات المدارات لا تزال موضع نزاع عنيف. منذ ما يقرب من ٥٠ مليون سنة بعد مولد المنظومة الشمسية، اصطدمت الأرض بكوكب حجمه يقرب من نصف حجمها، وكان لذلك تأثير رائع مزدوج. حدث لهذا الكوكب المحكوم عليه بالهلاك أن جزءًا من كتلته تم امتصاصه في كتلة أرضنا مع زيادة خالصة في وزنها بمقدار من ١٠ في المائة. وفي الوقت نفسه فإن قطعة من الأرض الأصلية انفصلت عنها في هذا الاصطدام، قطعة ثمينة أصبحت فيما يتفق ابننا المولود عذريًّا وتابعنا الوحيد: القمر.

أخذت بعدها طبعة الأرض الحديثة المكبرة تتخذ شكلها الحالي. انجذبت المواد الأكثر كثافة كالحديد والنيكل جذبًا بالغ القوة بمجال جاذبية الكوكب وأخذت تهاجر تدريجيًّا تجاه المركز. أما المواد الأخف، بما فيها الأوكسجين والسيليكون فقد كان الشد عليها أقل فشكلت الطبقات المتوسطة والخارجية.

هذا، على نحو تقريبي، هو حال الأرض كما هي لدينا الآن: كرة تتكون من قلب معدني كثيف كثافة تثير العجب تحيط به طبقات تكون نسبيًّا أخف وأنعم، وتعلوها قشرة خارجية هشة. لكن هذا ليس بطبق الحلوى في ختام الوجبة، فالوجبة لم تنته بعد، هناك ضغط ونشاط إشعاعي هائلان يبقيان النيران مشتعلة؛ وعندما يكون «الشيف» كبير الطهاه مستاء، فإن كل واحد آخر يشعر بالحرارة.

هناك من يعيشون منا عند مستوى يقرب من الدور الأرضي أو قشرة الأرض — وهذه تحوي كل أشكال الحياة المعروفة، ذلك أنه حتى من يسكنون في أعماق المحيط وهم يخوضون فيما حولهم من فتحات ينابيع المياه الساخنة، حتى هؤلاء يعيشون تمامًا داخل حدود القشرة الأرضية — وكل أشكال الحياة هذه هي مما يصعب تقدير قوة تأثير الضغط فيها. يتحمل البشر الضغوط الجوية؛ ولكن على الرغم من أن جو الأرض كثيف، إذ تمتد مسافاته إلى أعلى بمقدار ٥٠ ميلًا أو أكثر، وعلى الرغم من أن البشر يبحرون عند مستوى سطح البحر خلال الطبقة الجوية السفلى الأثقل، فإن الضغط الجوي يظل نسبيًّا حملًا خفيفًا: هو فحسب ضغط من ١٤,٧ رطلًا من الهواء فوق أي بوصة مربعة منا. أما في داخل الأرض فإن الأشياء تزداد وزنًا بسرعة. كل طبقة تتكون من مادة جامدة أو بعض ما يكافئ مادة جامدة، وعلى كل طبقة من الطبقات المتتالية أن تظل متماسكة تحت ثقل كل الطبقات الجامدة من فوقها. عندما تخترق الأرض إلى أسفل بمسافة ثمانية عشر ميلًا، سيكون مقدار متوسط الضغط ما يقرب من ١٥٠٠٠٠ من الأرطال على كل بوصة مربعة. عندما نصل إلى مائتي ميل في الداخل يرتفع الضغط إلى ١,٥ مليون من الأرطال على كل بوصة مربعة. مع الوصول إلى أقصى الداخل من القلب نلاقي أحمالًا ساحقة من خمسين مليون رطل على كل بوصة مربعة، أو ما يقرب من ٣,٥ مليون مثل لضغط الهواء.

قلب الأرض، بما فيه من كرة مضغوطة من الحديد والنيكل وغيرهما من العناصر الغليظة، هو في الحقيقة كرة من داخل كرة، منطقة داخلية

بحجم القمر عرضها يقرب من ٢٦٠٠ كيلومتر، محاطة بقلب خارجي له عرض المريخ. وفي ذلك القلب الداخلي تكون درجة الحرارة كالجحيم كما هي منذ بدء التكوين وتبلغ ١٠٠٠٠ درجة فهرنهيت. هذه درجة حرارة أعلى مما يكفي لصهر الحديد في ظل معظم الظروف، بما في ذلك على الشمس التي تماثل ذلك في توقدها اللافح. لكن الضغط الهائل يستفيد من التغيرات الكيميائية العادية ويحزم ذرات الحديد في صفوف محكمة بحيث إنها لا تستطيع أن تنهض من الضربة لتتدفق، ونتيجة لذلك يكون القلب الداخلي جامدًا، شيئًا قريبًا من كرة بلورية هائلة صنعت من حديد.

تكون الضغوط في القلب الخارجي أكثر ارتخاء إلى حد ما، وهكذا أيضًا تكون عناصره التي تقيم فيه. يتكون القلب الخارجي أساسًا من الحديد، مثله في ذلك مثل القلب الداخلي، ولكن الحديد هنا ينساب فيما حوله كسائل. تؤدي هذه السيولة إلى نتيجة معينة مرحب بها، وتساعد على أن تجعل الأرض مكانًا يحسن وفادة الحياة. عندما ينزلق المعدن المصهور إلى القلب الخارجي حول الحديد الجامد للقلب الداخلي، تولد هذه التحركات المجالات المغناطيسية للأرض التي يمكن لنا تمامًا أن نسميها بالدروع المغناطيسية. تمتد المجالات المغناطيسية خارجًا في الفضاء لآلاف الأميال، وهي هكذا تساعد على انحراف الكثير من الرياح الشمسية، وهي رياح تجيش بغزارة بجسيمات الطاقة العالية التي تتدفق بلا توقف من سطح الشمس، وإذا تُركت هذه بلا كابح فإنها ستتجه إلى أن تزيل بعيدًا ما ادينا من جو، بمثل ما هو مؤكد من أن زيت التربنتين يزيل أي دهان للطلاء. المغناطيسية الأرضية تتواطأ إذن مع جوّنا المدلل للدفاع عن سطح كوكبنا ضد أخطر إشعاعات الشمس. الهواء هو والمجالات المغناطيسية معًا يشتتون معظم ما تبعثه الشمس من أشعة إكس، والأشعة الكونية، وأشعة جاما قبل أن يتمكن الإشعاع من الوصول إلينا ومن أن يمزق خلايانا وجيناتنا.

المجالات المغناطيسية تجعل العالم أيضًا يتشرب الحس بالمكان، فيصبح هناك شمال وجنوب يتأصلان في فن رسم خرائطه، وهناك كائنات حية كثيرة يُعتقد أنها تنظم ملاحتها في رحلاتها باستخدام المغناطيسية الأرضية:

الحمام، والعصافير الدورية، والطائر الأمريكي المراح، والحوت الأحدب، وسمك السلمون، وجراد البحر الشوكي، والسلاحف ذات الرأس الضخم، والفراشات المليكة الضخمة، وسمندل الماء، وأعضاء نادي «مخيمات الغابات في أستراليا الوسطى». ثم هناك من يكونون منا فاقدين كليًّا لأي إحساس بالاتجاه، وهؤلاء لا يرقى تفكيرهم في استخدام البوصلة إلا على أنها شيء يعطى لأحد حراس المنتزهات مقابل أن يقله بالهليكوبتر.

يقدر قلب الأرض الداخلي والخارجي معًا بما لا يزيد عن سدس حجم الأرض، لكن كتلة القلب تقدر بثلث كتلة الأرض. وتتحدد الكتلة بالثقل وبكثافة المكونات. الذرات الأكثر جبروتًا بين الذرات المكونة للأرض، تلك التي لديها أكبر عدد من البروتونات والنيوترونات، تكون قد أغوتها الجاذبية لتتجه إلى الداخل، وهي أثناء توجه موكبها العنيد تجاه نقطة الوسط تدفع جانبًا اللاعبين الأكثر ضآلة ممن يقفون في طريقها. وتركز الحديد والنيكل والعناصر الذرية من فئتهما في القلب، بشكل يمنع تقريبًا وجود العناصر الأخف، يؤدي إلى ظهور حدود فاصلة واضحة بين القلب وما ليس بالقلب. عندما نتحرك بعيدًا عن القلب لندخل إلى الطبقة المجاورة من لحم الأرض أي الوشاح، يصل الاختلاف في الكثافة إلى درجة متطرفة مثل الاختلاف ما بين الأرض التي نقف عليها والسماء من فوقها.

يحتل الوشاح معظم محيط الأرض، وكلمة الوشاح مأخوذة عن مصطلح «العباءة» الألماني، لأن الوشاح يحيط بالقلب كالعباءة. على الرغم من أن هذه العباءة تقل كثافتها كثيرًا عن القلب فإننا يجب ألا نظن خطأ أنها مجرد غشاء رقيق. فهي طبقة صلبة صلابة الصخر، طبقة شاسعة من فسيفساء منوعة من المعادن والسيليكات — مواد بنيت أساسًا بسلاسل من السيليكون والأوكسجين، وهي تغطي إلى حد كبير كل التكوينات التي نسميها بالحجر. أحد مظاهر سوء فهم الناس للوشاح هو أنه منصهر؛ أي وعاء ضخم من صخر مصهور يتدفق هنا وهناك تحت الأرض مثل الحمم المصهورة التي تتدفق خارجة من فتحة بركان في هاواي. الحقيقة هي أنه في حين أن الكثير مما في الوشاح يقترب من درجة حرارة الانصهار خاصة في المناطق

الأكثر قربًا من القلب، فإن القليل جدًّا منه يكون سائلًا حقًّا. الوشاح بدلًا من ذلك أقرب شبهًا بمادة «سيلي بوتي»،[٦] وهي لعبة يحتفظ بها أكثر من عالم جيولوجيا في متناول يده بهدف إجراء بيانات عملية بها، ولصنع دمغات مضحكة من الصحف عندما يتملكهم الملل. الوشاح مثل مادة «سيلي بوتي» جامد ولكنه مرن كالزنبرك ويكاد يكون قابلًا للهرس، ويستطيع أن يتحرك، وهو بالفعل يتحرك طول الوقت. يقترح دافيد بيركوفيتشي «أن نفكر فيه كالأنهار الجليدية. فهي جليد متجمد، وهي تتحرك. صحيح أنها تنتقل ببطء شديد، ولكنها تنتقل.» الوشاح أيضًا ينتقل بطيئًا جدًّا. وهو ينساب كدثار هائل من صخر مطاطي حول قلب الأرض المركزي، بسرعة معدلها ١٠ سنتيمترات في السنة، أي أبطأ من سرعة نمو الشعر.

فوق الوشاح توجد الطبقة التي في أقصى الخارج من الكواكب، العباءة الحقيقية للأرض والمكان الذي نعرفه أحسن المعرفة — القشرة الأرضية. تبدو كلمة «القشرة» من أحد الجوانب وكأنها كلمة منفرة وينقصها البريق عندما تستخدم للتعبير عن شيء قد أطعمنا وآوانا كأحسن ما يكون. الكائنات الحية بأسرها تعيش على القشرة أو فيها. القارات السبع وما يضاف إليها من ١٠٠٠٠٠ جزيرة مأهولة في العالم كلها جزء من القشرة. المحيطات وقيعانها التي تستقر عليها كلها جزء من القشرة. الطبقات التي نستخرج منها البترول والغاز الطبيعي والفحم أجزاء من القشرة. القشرة موضع ثقتنا، وهي كذلك منذ الأبد.

من الجانب الآخر تبدو القشرة رفيعة «جدًّا». وهي كجزء فرعي من الأرض تُعد ضئيلة تافهة، وتقدر بأقل من النصف من واحد في المائة من كتلة الأرض وتقدر بواحد في المائة من حجمها. إذا كان أحدهم في السجن وألقى إليه شخص ما بكسرة خبز مقاييسها بالنسبة للرغيف الأصلي هي

---

[٦] «سيلي بوتي» (Silly Putty): الاسم التجاري لمادة بلاستكية من السليكون فيها مرونة ولزوجة، ظهرت أثناء تجارب أمريكية خلال الحرب العالمية الثانية لاكتشاف بدائل للمطاط، ولم تنجح في هذا الغرض. ولكنها تستغل الآن لمرونتها ولزوجتها في أغراض عديدة كلعب الأطفال مثلًا، أو في العلاج الطبيعي لإعادة تأهيل اليد بعد إصابتها، وفي البيوت لالتقاط الغبار وشعر الحيوانات الأليفة. (المترجم)

بالنسب نفسها بين قشرة الأرض والأرض، فإن عرض هذه الكسرة سيكون النصف من المليمتر، بما لا يكاد يصل إلى سمك رمشين من رموش العين. قشرة الكوكب عرضها ضئيل جدًّا بالمقارنة بحجم الكرة كلها إلى درجة أننا لو اختزلنا حجم الأرض إلى حجم كرة سلة، فسيكون الجلد الذي يغطيها أرق كثيرًا من غطاء كرة السلة وأقرب لغطاء كرة البولنج. ستختفي في هذا المثل كل القمم الجسورة والوديان العميقة التي نفخر كل الفخر بقهرها، وقد سوّتها قوة التباين بين حجم الوشاح والقلب.

إحدى الطرائق المنصفة للتفكير في القشرة هي أن نعتبرها كطبقة من الجليد فوق بحيرة. يطفو الجليد لأنه أخف وأقل كثافة من الماء الذي أسفله، وهو يتبلور في بلورات هشة لأنه قد تجمد بسبب هواء الشتاء من أعلاه. تتكون قشرة الأرض على نحو مماثل أيضًا من صخور خفيفة نسبيًّا تطفو فوق معجون الوشاح فائق الكثافة، القشرة هي أيضًا أبرد جزء من الأرض، ومن ثم فإنها هشة وعرضة للكسر. الجليد فوق البحيرة يكون في أجزاء منه أكثر سمكًا من أجزاء أخرى، وهذا هو السبب في أنه من الغباء الشديد أن يحاول أحدهم قيادة سيارته الفولكس فاجن عبر الجليد غير مهتم بما قاله له أحد أقرب أقربائه. اختلاف سُمك جليد البحيرة هكذا يماثله تمامًا أن سمك قشرة الأرض يتباين تباينًا له قدره، ابتداء من نقطة رقيقة بسمك ثلاثة أميال عند قاع المحيط في هاواي، ووصولًا إلى سمك يقرب من ثلاثة وأربعين ميلًا للقشرة عند هضبة الهيملايا. القشرة القارية عمومًا يكون سمكها أكثر من قشرة المحيطات بما يقرب من ستة أو سبعة أمثال؛ وعلى الرغم من أن ممالك قاع المحيط لها سحر بدائي غامض كالأطياف، باعتبار أنها المكان الذي ربما نتوقع أن نعثر فيه على القليل من ثلاثيات الفصوص، أو أن نعثر على جزيرة أطلنطا المفقودة، أو أن نعثر على الأقل على الممثلين الأصليين والبحارة في المسلسل التليفزيوني «سفينة الحب»، على الرغم من هذا كله فإن الحقيقة أن الكثير مما يوجد في قاع البحر له عمر صغير تمامًا، فهو أصغر عمرًا من الأرض الجافة التي نقف عليها بما يتراوح بين مئات الملايين إلى البلايين من السنين. وهذا يأتي بنا إلى النظرية

التي تتصاعد في أهميتها عن تكتونيات الألواح وهي مبدأ أساسي في نظم الجيولوجيا وأحد الاكتشافات الكبرى في القرن العشرين. كما أن هذا يعود بنا إلى تلك الصورة للجرم الساخن جدًّا الذي يريد أن يبرد — قدح القهوة، أو سلطانية العصيدة، أو كوكب له قلب من حديد مصهور. أيًّا ما يكونه الحال، فإن الأنماط التي تنشأ عندما تزبد فقاقيع الحرارة من الأسفل هي أنماط يشبه أحدها الآخر مهما تكن المادة المتأثرة بالتفاعل التي تنساب من خلالها.

فكرة أن كتل الأرض تهاجر ببطء حول الكوكب ليست بالفكرة الجديدة. مع تحسن الخرائط لم يملك العلماء هم وغيرهم إلا أن تنتابهم الحيرة حول مظهر القارات التي تبدو كقطع اللغز التي تركب معًا. هناك في أرجاء العالم أدلة قاطعة متلاحمة من الحفريات، ورواسب الصخور، وأنماط تخطيطات جليدية، نشرها عالم الجيولوجيا والأرصاد الجوية الألماني ألفريد فيجنر في ١٩١٢م في كتابه «انجراف القارات» الذي يتضمن فرضيته. طرح فيجنر أنه منذ ٢٠٠ مليون سنة كانت كل القارات مندمجة معًا في كتلة أرض عملاقة واحدة أسماها «بانجيا» بما يعني «كل الأرض»، وأن بانجيا قد تكسرت بطريقة ما إلى قطع وأن القطع المكسورة قد انجرفت متباعدة. أرثر هولمز جيولوجي إنجليزي تصادف أن اسمه يجمع بين اسم شخصية شرلوك هولمز المخبر السري في الروايات المشهورة وبين اسم مبتكر الشخصية سير أرثر كونان دويل؛ سرعان ما طرح هذا العالم الإنجليزي آلية محتملة للتنقلات القارية لفيجنر. كان هولمز قد درس الفيزياء والجيولوجيا فيما هو الآن الكلية الإمبراطورية بلندن، وقد خمن أن الاضمحلال الاشعاعي الذي ما زال مستمرًا إلى الآن في الأرض يمكن أن يساعد في توليد تيارات حرارية عملاقة تنتقل بالحمل إلى أعلى إلى السطح مثل طهي الحساء فوق موقد. على أنه لم يحدث إلا بعد الحرب العالمية الثانية أن جمع العلماء أدلة تجريبية على أن هناك انتشارًا مطردًا لقيعان البحار، يغذيه بالوقود النشاط الإشعاعي تحت الأرض، وهذا الانتشار هو الذي يسوق الانجراف

القاري؛ ولم يتمكن الجيولوجيون إلا بعد ستينيات القرن العشرين من أن يجمعوا معًا الأجزاء المتفرقة في نظرية موحدة كبرى عن طريقة مخض الأرض. نظرية تكتونيات الألواح أيضًا نظرية صادقة لا خداع فيها، إطار لتصور فكري رحب مريح يفسر مصفوفة من اكتشافات متباينة، وتصبح أقوى وأكثر ثباتًا مع الإضافة المطردة للبيانات الجديدة، وهي نظرية يمكن استخدامها لوضع صيغ واختبارات لكل الأنواع من الفروض المبتكرة وغير الواضحة حول طريقة سلوك الأرض. ربما لم يتمكن العلماء بعد من التنبؤ بالزلازل أو الانفجارات البركانية تنبؤًا يقرب في دقته من الحد الذي نريده نحن أو تريده شركات التأمين، ولكن العلماء يستطيعون صنع تنبؤات أكتوارية[٧] حول المكان والوقت الذي يتحتم أن تحدث فيه الهزات الأكبر.

تسرب مصطلح «الانتقال التكتوني» إلى الاستخدام الجماهيري وغدا ينافس في ذلك مصطلح «الوثبة الكمية» في أنه يطرح تغيرًا كبيرًا حقًّا هو عمومًا تغير بنّاء وإن كان يمكن أن يكون خطرًا، وهذا كله فيه فروق رهيفة: كلمة «تكتونيات» تأتي من الكلمة الإغريقية «تكتون» التي تعني «البنّاء». تكتونيات الألواح هي نظرية عن الطريقة التي يؤدي بها انتقال ألواح الأرض إلى بناء الجزء الأكبر من البيئة المحيطة بنا. وأماكن البناء هذه قد تكون أماكن خطرة — وإلا فلماذا يرتدي عمالها خوذًا صلبة، ويحملون معهم صناديق غذاء معدنية، ويعرفون كيف يصفرون؟ ألواح الأرض التكتونية تؤدي وهي تلتوى متباعدة، إلى إعادة تقسيم دول بأكملها في لحظة مرح، ولكنها ربما ليست كما يبدو من اسمها. لا يستطيع أي منا أن ينظر إلى الكرة الأرضية ويعرف أين تكون ألواحها، فهي لا تتحدد بأشكال القارات أو بمكان التقاء الأرض بالبحر. الحقيقة أن متابعة مسار حدود ألواح الأرض مهمة معقدة وتكون أحيانًا عنيدة. اتفقت الآراء على أنه يوجد من سبعة إلى عشرة ألواح كبيرة أو «رئيسية»، ومن خمسة وعشرين إلى ثلاثين من الألواح الصغرى. معرفة العدد الدقيق لأنواع الألواح أمر تقل

---

[٧] الإكتوارية: طريقة حسابات التأمين وأقساطه بأفضل السبل. (المترجم)

أهميته كثيرًا عن معرفة طريقة تحرك الألواح، وإلى أين تتجه، وماذا يحدث عندما يصطدم لوحان.

ماذا تكون إذن الألواح التكتونية؟ على عكس ما يشيع من سوء الفهم لهذه الألواح، فإنها ليست مجرد قطع مكسورة من قشرة الأرض، مع أن صخر القشرة عادة ما يكون مكسورًا بطول خط الحدود بين أحد الألواح واللوح التالي. ولكن الألواح تمتد لأعمق من القشرة، إلى داخل الجزء الأعلى من الوشاح. يبلغ سمك كل لوح ما يقرب من خمسين ميلًا، وإن كانت الألواح، مثل القشرة نفسها، تتباين في عرضها وكثافتها أيضًا. الألواح التي تحمل القارات تكون نسبيًّا سميكة وخفيفة، في حين أن الألواح التي رققتها قيعان المحيطات تكون رقيقة وكثيفة. تتعين الألواح إلى حد كبير بواسطة حركاتها مثلها مثل أي شيء آخر. فهي قطاعات من الأرض الخارجية تنزلق فيما حولها كوحدات متماسكة إلى حد معقول. الجزء العلوي من كل لوح متحرك — أي الجزء القشري — يكون هشًّا وعرضة للتصدع والتجعد. الجزء السفلي الموجود في الوشاح، يكون أكثر سخونة ولدونة، وأكثر قابلية لأن يكون طيّعًا عند ضغطه. الألواح كلها تنزلق من فوق الوشاح السفلي الموجود تحتها الذي يكون أكثر لزوجة، أو أنها في بعض الحالات تنزلق مع هذا الوشاح السفلي، ويكون متوسط سرعة تحركها هو من سنتيمتر واحد إلى عشرة سنتيمترات في كل سنة — وهو معدل يقارب سرعة نمو أظافر الإنسان. قد يكون هذا معدلًا لسرعة بطيئة بالنسبة للمقاييس البشرية ويماثل سرعة القوقع، ولكنه معدل سرعة يؤدي حقًّا — بمقاييس الجيولوجيين — إلى عض الأصابع. قد يهاجر أحد الألواح خلال مليون سنة بما يقرب من ثلاثين ميلًا. وإذا أُتيح للوح فترة من مائة مليون سنة فسوف يكون تجواله لمسافة ٣٠٠٠ من الأميال، بما يقرب من المسافة بين نيويورك ولندن.

تنشيط الألواح بحيوية هو جهد لا ينقطع للأرض للتخلص من حرارتها الخانقة. لا يوجد في متناول كوكبنا إلا تقنيات قليلة للتبريد. وهو يشع القليل من الحرارة عن طريق التوصيل، حيث ترهن الذرات والجزيئات السريعة الحركة بعض طاقتها الفائضة عند الذرات والجزيئات الأبطأ حركة

التي تجاورها — العملية نفسها التي تسخّن سريعًا الملعقة المعدنية التي نضعها في قدح قهوة ساخن. تتخلص الأرض من قدر آخر متواضع من طاقتها الحرارية عن طريق منافذ ميكانيكية مباشرة — التفجرات البركانية، وينابيع المياه الحارة، وما يتعلق بذلك من وسائل التجشؤ الأرضية. على أن الأرض تعتمد غالبًا على طريقة الحزام الناقل للتخلص من الحرارة، أي طريقة تيارات الحمل. الحمل له ميزة أنه يؤدي إلى التبريد، ليس فحسب بدفع ما هو ساخن إلى أبعد، وإنما أيضًا بأن يجذب عن قرب العناصر الأبرد. تيارات الحمل التي تنساب خلال عالمنا تيارات معقدة ويصعب متابعة مسارها، بما يكاد يشبه ما يوجد في الجو من أنماط الطقس على النطاق الكبير، على أن ما يحدث هنا على وجه التقريب يكون كالتالي: تنساب الحرارة من القلب الحديدي إلى الداخل من صخرة الوشاح السفلي. عندما تسخن هذه الصخرة الحدودية، تتمدد وتصبح أقل كثافة، ويأخذ هذا الصخر الساخن المتمدد في التصاعد من خلال ما فوقه من صخور الوشاح الأبرد، ويماثل هذا تمامًا تصاعد الهواء عندما يسخن. كلما ارتفعت المسافة التي يمكن للصخر الساخن أن يصعد إليها، قل مقدار الضغط عليه، وزاد ما يصبح عليه من ليونة؛ وكلما زادت ليونته كالزبد، تدفقت بشكل أفضل، الأمر الذي يزيد من تسهيل رحلته تجاه القشرة. على أنه يحدث عند نقطة معينة أن يتدخل عامل تكنيكي آخر صغير من الفيزياء، الوجه الآخر من العملة أو من المبدأ الذي دفع الكتلة الصخرية منذ بداية الأمر لتتصاعد مزبدة. أثناء التصاعد تأخذ الصخرة في توزيع حرارتها على ما يحيط بها، وبينما هي تبرد فإنها ترتد تدريجيًّا إلى حالة كثافتها السابقة. وأخيرًا لا يبقى هناك خيار أمام فقاعة الحجر، فهي أثقل مما ينبغي بالنسبة لقوام النسيج المحيط بها، وتأخذ في الغوص، وهذا ما يمكن بسهولة مبتذلة أن تتنبأ به كشيء يفعله أي حجر. هكذا تعود الكتلة الصخرية للهبوط إلى أسفل وأسفل تجاه القلب الأكثر سخونة، حيث تستطيع أن تلتقط المزيد من الحرارة وتبدأ رحلتها في توق مرة أخرى. هذه إذن هي دورة الحمل الأساسية وهي تعمل من داخل الأرض. الصخور الساخنة تتمدد، وتتصاعد،

وتبرد، ثم تنكمش وتهبط؛ ودعنا نلتقط نفسًا عميقًا ثم نجرب ذلك ثانية. قد تدور بعض تيارات الحمل هذه في دوامة قرب حدود القلب، والبعض الآخر قد ينتفض متشنجًا عبر رقع شاسعة من الوشاح. وهناك قلة منها يمكنها أن تناضل لشق طريقها إلى السطح وتتدفق إلى داخل المحيطات مباشرة إلى حيث تكون القشرة رفيعة ويسهل دائمًا أبدًا أن تنفرج غرزها التي تلفق الأرض.

هناك خطوط كثيرة للأبحاث التي توجت بالانتهاء إلى نظرية الألواح التكتونية، ومن بين أهم هذه الخطوط ما نتج عن دراسة قاع البحر في خمسينيات القرن العشرين. أدي هذا المشروع إلى مجموعة كاملة من المفاجآت. من أحد الجوانب هناك سلاسل طويلة من الجبال تحت البحر، أبرزها تلك التي تمتد أسفل المنطقة الوسطى من المحيطين الأطلسي والهندي وترتفع إلى ثلاثة آلاف متر أو أكثر فوق قاع البحر؛ كما أن هناك أخاديد تحت البحر تنخفض بألفي متر أو أكثر تحت قاع البحر. ومن جانب آخر، فإن الصخور فوق قاع البحر عمرها صغير صغرًا مثيرًا، فهو في أقصاه ١٨٠ مليون سنة، بالمقارنة بعينات الصخور الأرضية التي يعود تاريخها إلى بلايين السنين. الأصغر سنًّا من هذه الصخور الخبيثة وُجد في قاع البحر على أقرب ما يكون من سلاسل جبال وسط المحيط، مع تزايد مطرد في العمر كلما تحركنا بعيدًا عن الجبال وصولًا إلى حواف أخاديد وسط المحيط، وأخيرًا، ثبت أن قاع البحر هو على نحو ملحوظ حسن الترتيب وخفيف الوطأة فوق الرواسب، وذلك عندما يوضع في الاعتبار طول ما تعرض له من سقوط رذاذ مطرد من الحطام من الأرض التي أعلاه — أجزاء من نباتات، وحيوانات تخلفت بعد موتها، ورمل، وحصى، وطين، وعظام، وأصداف، وكراسي حانة من إنتاج شركة «نوجاهايد»، و٣٠٠٠ نسخة من ألبوم للفرقة الغنائية Grand Funk Railroad عنوانه «نحن فرقة أمريكية» وما زالت هذه الألبومات تقبع كلها غير مفتوحة في علبها. وكأن الأمر أن قاع المحيط يتواصل تنظيفه، وتفريغه بمكنسة كهربائية، ويتم التخلص مما فيه من بقايا تخلصًا رحيمًا ببيعها في مزاد إلكتروني لشركة «إي باي» على الإنترنت.

ساعدت تكتونيات الألواح في حل لغز الأعماق حديثة التكون. تحمل لوالب تيارات الحمل الصخور الساخنة الصغيرة السن إلى السطح بأن تتصاعد من خلال سلاسل جبال المحيط حيث تنبثق في تكوين صخري شبه جامد يسمى الصهارة. تدفع هذه الصهارة قاع المحيط لينشق منفصلًا، وتفدسل الصهارة ألواح المحيط في ارتباك على الجانبين وتجرف بعيدًا الصخور الأبرد الأكبر عمرًا. وفي النهاية نجد أن النهاية الباردة لقاع البحر التي تتمدد تصطدم بصدوع أخرى في القشرة، أخاديد المحيط العميقة، حيث يعاد امتصاصه أو يُسحب إلى داخل الوشاح. يُسحق الصخر في معدة الوشاح الطاحنة، ويحول إلى مسحوق، ويعاد تجهيزه وتعقيمه بالبسترة، بحيث إنه إذا أمكن لأي جزء منه أن ينبثق من خلال سلسلة جبال في القشرة ليرى مرة أخرى قاع البحر قرب الشاطئ، فإنه سيفعل ذلك وقد اتخذ شكل صخر جديد بكل الجدة. فالسير المتحرك لإله البحر «بوسيدون» لا يتوقف أبدًا عن القعقعة بحركته السريعة، ونجد في التاريخ العتيق لكوكب الأرض أن قيعان الميحطات، تلك النقاط المنخفضة في قشرتنا، قد تمت إعادة تدويرها عشرات المرات. القارات ليست على هذا الحال. سبب ذلك أن الصخر القاري خفيف نسبيًّا، وهو يطفو فوق منطقة الأخاديد الساحبة، حيث يتم دفعه وجذبه وخبطه بدون أن يتم امتصاصه بصورة منتظمة إلى داخل الوشاح. كما سبق القول، فإن كتل الأرض القارية غيرت تغييرًا متكررًا الخطوط الكنتورية المحيطة بها كما غيرت مرارًا من ولاءاتها، لكن الكثير من صخورها ظلت باقية فوق المصهورات المهترأة لبليون سنة أو أكثر.

في كل مكان يؤدي تصاعد الصخر الساخن إلى أن تظل الألواح في حركة مستمرة، والألواح المتحركة تؤدي بدورها إلى إعادة تشكيل أدوار الممثلين على مسرح القشرة الذي تلقن عليه الحياة سطور الأحداث ببسالة. يؤدي انتشار قاع البحر عند سلاسل جبال وسط المحيط إلى أن يدفع بعض الألواح هي وما تحمله، متباعدة أحدها عن الآخر: هذا التباعد التكتوني يدفع كلًّا من شمال أمريكا وأوراسيا في اتجاهين متضادين، ويوسع المحيط الأطلسي

بما يقرب من خمسة سنتميترات في كل سنة. هناك ألواح أخرى يصطدم أحدها بالآخر، ويحدث ذلك على نحو أخرق وبغضب مثلما يصطدم اثنان من المشاة فوق الرصيف: فلتذهب أنت من هذا الطريق، لا، سأذهب من ذلك الطريق، عجبًا، ها نحن الآن نسير مرة أخرى في الاتجاه نفسه، لن ينجح هذا. ربما سأحاول لا غير أن أنحني وأروغ من بين ساقيك لأنهي هذه المهزلة. عندما يحتك لوح قاري سميك مع لوح محيطي رقيق، يحدث بالفعل أن يأخذ اللوح الأقل سمكًا في أن يغطس تحت اللوح الأعلى، ويصنع بذلك إحدى مناطق الامتصاص التي تعيد قاع البحر القديم إلى الوشاح، وأثناء ذلك تؤدي هذه العملية إلى اضطراب خطير في أي من هيئات الأرض التي تقبع من فوقها: فترتفع سلسلة من البراكين وتزودها مثلًا بحجرات صهارة متفجرة، أو تجعد خطوطًا ساحلية في قمم عالية الارتفاع تلائم كل الملاءمة حيوانات اللاما، وملوكا لديهم كم وافر من العبيد، وسباحًا يتوافر لهم كم وافر من التأمينات الصحية. هناك سلسلة جبال الشمال الغربي – موطن جبل سانت هيلينز – وهناك جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية، وكلاهما يعطي المثل لما يحدث عندما تصطدم الألواح المحيطية مع الألواح القارية.

إذا كان اللوحان المتصادمان كلاهما يحمل قارات، فستنسحق كتل الأرض معًا ببطء كما في التصوير البطيء للأفلام، وتلتوي الحواف المتقدمة إلى أعلى أثناء التحام القارات قهريًا في اتحاد قلق مرتبك. غالبًا ما تكشف سلاسل جبال وسط القارة عن المكان الذي حدث فيه أن انضغطت معًا ذات مرة هيئات أرضية منفصلة بسبب اصطدام الألواح القارية المتقاربة. مثال ذلك أن جبال الهيملايا أخذت تنشب مخالبها في طريقها للصعود إلى أعلى منذ ما يقرب من ٤٥ مليون سنة، عندما اصطدم اللوح الذي يحمل شبه القارة الهندية بباقي آسيا. تحدد جبال الألب في أوروبا الخط حيث اصطدمت شبه الجزيرة الإيطالية، وهي تمتطي اللوح الإفريقي، بما يعرف الآن بأنه ألمانيا وفرنسا، وذلك في الوقت نفسه تقريبًا بالنسبة للبلدين، وأدى هذا إلى اندماجهما على نحو فظ فيه جفاء لم يهدأ بعد تمامًا رغم ما جرى

من حربين عالميتين، وعملة مشتركة، وكثرة استهلاك كل من البلدين لعجائن البلد الآخر.

المواجهات التكتونية ليست دائمًا من نوع الاصطدام رأسًا برأس. أحيانًا نجد أن اللوحين اللذين يتحركان في اتجاهين مضادين يحدث بينهما مجرد احتكاك أو محاولة لذلك أثناء مرور أحدهما بالآخر. إذا ثبت أن المواجهة العاجلة فيها ضغط محكم، فستلتصق أجزاء من اللوحين معًا، خاصة عند قشرتيهما العلويتين الهشتين الرثتين. قد يصر اللوحان في أسفلهما على أن يستمر كل منها في اتجاهه المتعارض، ولكن الصخور بطول الحدود العليا اللزجة تظل محبوسة في مكانها. وتصبح مضغوطة ومجهدة وتلجأ إلى كل أنواع الحيل — العلاج الطبيعي، واليوجا، وتغيير الاسم إلى «جبل طارق». لكن الضغط يظل يتزايد، وفي النهاية تنقصف أسطح الصخر المجهدة، وتترنح متباعدة أحدها عن الآخر في نوبة تشنج زلزالية. كلمة Seismic (زلزالية) تأتي من الكلمة الإغريقية التي تعني «الاهتزاز»، والانزلاقات المفاجئة بطول خطوط تصدع الأرض — شقوق في القشرة حيث التحركات في الألواح من أسفلها تجبر الصخر على الاحتكاك بالصخر — وهذا هو ما يؤدي إلى اهتزاز الأرض وتكسرها برعشة، عندما تتحرر الطاقة الحبيسة المختزنة في الصخور التي عانت طويلًا، فتنطلق إلى الخارج في موجات.

أشهر حدود هذه الألواح الخطرة توجد عند صدع سان أندرياس بكاليفورنيا، حيث لوح الباسيفيك (المحيط الهادي) يزحف شمالًا بالنسبة إلى لوح أمريكا الشمالية، بينما أوجههما البينية الحجرية تأخذ في التشبث والانزلاق بالتبادل، ويكون ذلك عادة بارتجاجات متضايفة، ويكون أحيانًا بارتفاع مفاجئ يصل إلى عدة أمتار في الحال. حدث في زلزال سان فرانسيسكو الكارثي في ١٩٠٦م أن كانت ذروة الإزاحة بما يقرب من ٢٠ قدمًا قرب أوليما بكاليفورنيا. تميل عمليات الطحن والانزلاق المزمنة للألواح إلى أن تؤدي إلى كسر صخور الحدود في اتجاهات كثيرة وبطول مستويات عديدة، تهبط إلى ما يقدر بعمق ستة أقدام كما في حالة هزة ١٩٠٦م. ونتيجة لذلك فإن خطوط الصدع الكبرى مثل صدع سان أندرياس لا تكون مجرد شقوق

منفردة في القشرة، وإنما هي أدغال متقاطعة من بلاطات صخر متشققة، يحدث أحيانًا أنها تمتص التحركات المتبرمة للألواح وأحيانًا ترتد من الجهد وتمزق المزيد. والصعوبة في تحديد المرونة النسبية لأي شق في الدغل اللزج لخط الصدع تفسر التحدي الكبير في التنبؤ بزمن ضربة الزلزال التالي، وإلى أي مدى بالضبط سيكون سيئًا.

أدى تدفق الوشاح إلى أعلى تدفقًا مذهلًا إلى أن يفعل في قشرة كوكب الأرض ما هو أكثر من دقها إلى «ما لانهاية» بحقد الصهارة. وبالإضافة إلى تكوين قيعان البحار، فإن قُوى الحمل الحراري في باطن الأرض وفرت المياه التي توجد فوق هذه القيعان. الأرض بالطبع يغسلها الماء كلها. هناك ٣٢٦ مليون تريليون جالون من المياه، تكفي لتغطية ثلاثة أرباع سطح الكوكب بمحيطات متدفقة متوسط عمقها ٢,٥ من الأميال. الماء السائل ضروري للحياة كما نعرف، ولا يوجد أي من أشقائنا من الكواكب يستطيع أن يزعم أنه يتمتع بوفرة في المياه تضاهي كوكبنا. لا يزال باب الخلاف مفتوحًا حول التتابع المضبوط للأحداث التي ثبتت الشريط الأزرق اللامع على سترة الأرض، لكن معظم العلماء يتفقون على أن من المرجح أن هذا كان فيه مزيج من عوامل سماوية وعوامل تثبيت احتباسية. قد يكون الماء نادرًا كسائل في المنظومة الشمسية (وفي حدود ما نعرفه فهو نادر في الكون عمومًا)، ولكن (يبدأ) في حالاته الأخرى ليس نادرًا. تتوافر المذنبات على أطراف منظوماتنا الشمسية، ونستطيع بثقة أن نشير إلى أنها «كور ثلج قذرة». المذنب ليس إلا كتلة من الثلج والغبار في مدار، قد يكون عرضها عشرة أميال؛ وذيلها المذهل يصيح بكلمة «مذنب» بوضوح بالغ، حتى إننا نتبين صورة المذنب في سجادة مطرزة عمرها ألف سنة في مدينة «بايو»[8] وفيها صورة المذنب كنفثة بخار متواضعة، حيث يغلي ثلج السطح أثناء ميل القذيفة المرقطة مقتربة من الشمس. يبدو أنه في وقت مبكر من تطور المنظومة الشمسية كانت حشود ضارية من المذنبات تُشد من مناطق الضواحي إلى الداخل

[8] سجادة «بايو»: سجادة مطرزة يُحتفظ بها في مدينة «بايو» بفرنسا وتصور غزو النورمان لإنجلترا وانتصارهم. (المترجم)

بفعل قوى الجاذبية الشديدة لكوكب المشترى، فالمشترى عملاق كل ما ولد من الكواكب. هناك عدد له قدره من هذه المذنبات؛ إما أنها نسيت إحضار ما لديها من أجهزة التموضع العالمي المحمولة التي تسمى GPS،[٩] أو أنها وجدت أن هذه الأجهزة لا تعمل لأنها لم تكن قد اخترعت بعد، على أي حال فإن هذه المذنبات تجاوزت في اندفاعها هدفها بمسافة من مئات قليلة من ملايين الأميال واصطدمت بالأرض بدلًا من هدفها. كانت الأرض وقتها لا تزال صغيرة السن، وملمسها بالغ السخونة حتى إن الكثير من مياه المذنبات تبخرت سريعًا لتعود ثانية إلى الفضاء؛ لكن بعض المياه تسربت إلى أعماق الأرض الصغيرة السن، حيث حبست في الصخور، مما أدى إلى تضخم كبير في أي من مخازن المياه التي كانت لدى عالمنا منذ البداية. بدأت التفجرات البركانية منذ ما يقرب من ٤ بلايين سنة، وأدت باطراد إلى إطلاق سراح المياه تحت الأرضية من سراديبها المعدنية ولفظها لتعود فتخرج كبخار، يتصاعد إلى سطح الكوكب بعد أن أصبح هذا السطح رحيمًا معتدلًا بما يكفي لأن تجمع المياه قواها، وتتولى زمام المبادرة، وتبدأ في إنشاء البحار، كانت قشرة الأرض قد بردت، وأخذ الحديد المصهور وهو يدور في باطنها يولّد المجالات المغناطيسية التي تساعد على انحراف الرياح الشمسية اللافحة. تمت هكذا حماية السحب الضخمة الناتجة عن الغليان المضغوط بالبراكين فلم تصعد لتضيع في الفضاء، وإنما أخذت بدلًا من ذلك تحوم فوق الأرض، وتتجمع وتحدق محملة بكل ما ينذر كما تفعل سحب العواصف. واستمرت تتجمع حتى لم يعد هناك مكان لمزيد. تشبعت السماوات تشبعًا فائقًا بما يخرج عن حدود تحكم قبضة الجاذبية، مما أدى إلى انتشار سحابة في السماء لها درجة عالية من الرطوبة، ولم يعد أمام بخار الماء إلا أن يتكاثف ويسقط على كوكب الأرض كمطر. سقط المطر في سيول لا تكل بمقاييس طوفان نوح، وإن كانت أكبر ولزمن أطول، ولا يوجد هاهنا حيوانات زراف أو حمار وحش تُحشد بعجل فرق مركب خشبي، وهي تتمنى أن تعود إلى حلبة

---

[٩] GPS اختصار (Global Pisitioning System) أو منظومة تحديد الموضع الكوكبي. (المترجم)

السيرك. ظل هذا المطر الغامر في زمن ما قبل الطوفان وهو ينهمر لعشرات الآلاف، ومئات الآلاف من السنين، ويملأ الحفر في بشرة الأرض التي تكونت حديثًا من سيليكات تجمدت كحلوى الكراملة، وأخذ المطر يملأ هذه الحفر حتى حافتها. وفي حين أن هذا المطر المنهمر قد يبدو كموسم مطير بدرجة مفرطة حتى بالنسبة لما يحدث في سياتل، فإننا نجد حسب الجدول الزمني لتاريخ الأرض أن هذه العملية من بناء مواردنا البحرية لم تكد تستمر لزمن يساوي زمن عطسة. كتب الجيولوجي روبرت كاندل يقول: «يثبت لنا السجل التاريخي للصخور الرسوبية التي تكونت في وجود الماء السائل، أن المحيطات وجدت لزمن من ثلاثة بلايين سنة، أو ربما حتى أربعة بلايين»، وكان حجمها يماثل كثيرًا ما عندنا الآن. بكلمات أخرى، ما إن تمكنت قشرة الأرض من أن تبرد بما يكفي لأن تتكون انخفاضات يمكن تمييز وجودها حتى أخذت السماء تودع فيها أقصى حد مسموح به من الأصول السائلة، وكأنها حمولة سفينة شراعية من تلك التي وردت في القصص قدرها ٣٢٦ بليون تريليون من جالونات المياه، مياه كافية لأن تملأ سلسلة من أحواض الاستحمام تصل من الأرض إلى الشمس وتعود ثانية لخمسة ملايين مرة. عليك فحسب أن تتأكد من احضار فوطتك الخاصة، والشامبو، وكذلك أن تحضر جوًّا صالحًا للتنفس.

آه، أجل، جو صالح للتنفس. ما أسهل أن تفوتنا رؤية ما نحتاج إليه أشد الحاجة. نستطيع أن نعيش بلا ماء لثلاثة أيام أو حتى لأسبوع أو عشرة أيام إذا كان الواحد منا في حالة إرواء جيدة عند البداية وظل باقيًا في مكان لطيف الحرارة وتحت ظل. أما إذا توقف المرء عن التنفس فمن الممكن أن يموت خلال دقائق. قد يبدو هواء تنفسنا بكرمه شيئًا أبسط وأقل أهمية من الماء بالنسبة لبقائنا أحياء، وهو خالٍ إلى حد بعيد من أي نكهة أو طعم، وأقل إثارة للانتباه، وله نزعة أكثر وضوحًا لأن يحملق بنظرة خاوية إلى الفضاء، لكن المظاهر قد تكون خادعة، خاصة فيما لا يمكن أن نراه. جو الأرض مورد أكثر ثراء وتعقدًا عن مياهنا، وقد استغرق نسبيًّا زمنًا أطول ليتطور إلى المزيج المحدد الخواص الذي نستنشقه بمعدل

جالونين اثنين في كل دقيقة أو ما يقرب، بإجمالي يقرب من ٣٠٠٠ جالون في كل يوم — وهو ما يكفي لملأ ١٠٠ حوض استحمام ليست حاليًّا في طريقها للشمس. لما كان لأي غاز كتلته، وهي هنا رطل لكل مائة جالون، فإننا هكذا نشد إلى الداخل وننفث إلى الخارج ما يقرب من ثلاثين رطلًا يوميًّا من الفضاء الشخصي.

يُعد الجو في الحقيقة امتدادًا لكوكب الأرض، وهو ممثل لدور من الجغرافيا السياسية يقف على المسرح مباشرة مع القلب، والوشاح، والقشرة. الهواء مثل الكثير من الأشياء الأخرى التي تتعلق بكوكبنا، قد ولد في الداخل ثم تحول بعنف من الداخل إلى الخارج. منذ اللحظة التي تمكنت فيها الأرض من أن تتماسك في كرة لها احترامها بدأت تلفظ إلى الخارج غازات أول مكونات بدائية للجو، فأخذت تطلق خيوطًا من الأبخرة الساخنة التي كانت محتبسة في صخورها أثناء صخب ولادتها. كان أول جو يتكون في معظمه من الهيدروجين والهيليوم، ولم يستمر هذا طويلًا في هذا العالم. كان ينقص الأرض وجود الجاذبية الكافية لتحتفظ بغازات خفيفة الوزن هكذا، وكان قلبها الصغير السن لم يستقر بعد إلى جزئيه ليبتكر الحاجز المغناطيسي الواقي من الريح الشمسية. قبل أن تصل الأرض إلى علامة نصف البليون من السنين، كان جوها البدائي قد جُرف أو انمحى بعيدًا. وبينما توجد الآن آثار هيليوم في سمائنا — جزء ضئيل من ١ في المائة من الجو كله — لا يوجد واقعيًّا أي غاز هيدروجين حر يمكن العثور عليه. الهيدروجين الأرضي متحد بروابط مع العناصر الأخرى — مع الأوكسجين في الماء، ومع الكربون والنيتروجين في سلاسل جيناتنا وبروتيناتنا. عندما نريد هيدروجينًا خالصًا ليُستخدم في عمل بطريقة ما، كأن يكون مثلًا وقود هيدروجين يوفر طاقة سيارات الهيدروجين بمفهومها الراقي، فسيكون علينا عندها انتزاعه بعيدًا من وضعه في الجزيئات، وهذا أمر يتطلب طاقة أيضًا.

جو الأرض الثاني لم يتأتى بسهولة مثل جوها الأول. بردت القشرة، وأطلقت البراكين في زفراتها مواد متطايرة أخرى من الحجر تحت الأرضي، وأخرجت غازات بخار الماء، والنيتروجين، وثاني أكسيد الكربون والنشادر

بسرعة كبيرة، حتى أصبحت السماء تحوي غازات أكثر مما تحوي الآن بمائة مرة. تكثف بخار الماء من هذا الحساء السام المتصاعد، ليشكل مطرًا، وكانت هذه بداية البحار التي نراها الآن، وأول تلميحات عن الهواء الذي نحتاجه. ما إن تدفقت المحيطات حتى أخذت تمتص الغازات الأخرى من الجو، فأذابت بمتعة خاصة ثاني أكسيد الكربون عند سطحها وحولته إلى زبد فوار. قلّبت تيارات المحيط فقاعات ثاني أكسيد الكربون الدقيقة في نطاق واسع وعميق، حتى تم بالكامل امتصاص نصف ثاني أكسيد الكربون من الجو إلى البحر. الفقاقيع: الكل يحب الفقاقيع! الكل ينفخها، ويشربها، ويستحم فيها، ويفرقع فقاقيع الآخرين. الفقاقيع تشبه الجراء، فهي دائمًا تتواثب في سعادة ودائمًا متأهبة للعب. ياللعار إذا لم يكن هناك أحد موجودًا ليمسك بالزمام ويأخذ كل هذه الفقاعات المليئة بالحيوية والتي تتأسس على الكربون، ويأخذها ويخرج بها في سباق ويظل الكل يجري ويجري حتى يحدث أن يتوقف أحدهم عند مكان ما ليأخذ نفسًا عميقًا.

نحن لا نعرف كيف بدأت الحياة على هذا الكوكب. ولا نعرف أين بدأت — هل كان ذلك في مياه السطح التي يتناثر عليها ضوء الشمس، أو في قاع المحيط الأسود بجوار فتحة نبع ساخن يتدفق، محمية بهلال هادئ من الطين، أو يرتطم بها برقة رذاذ ما بين موجات المد. نحن لا نعرف متى بدأت الحياة؛ تتراوح تقديرات البداية لأن تكون منذ ٣٫٢ بليون سنة إلى ٣٫٨ بليون سنة. ولا نعرف ماذا كانت تبدو عليه أول أشكال الحياة. ولكننا نعرف حقًّا أنه ما إن بدأت الحياة فوق هذا الكوكب القلق الماص، الكوكب المماثل للفتاة ذات الشعر الذهبي، حتى فعل هذا الكوكب ما كانت ستفعله هذه الفتاة، فغيّر من كل شيء في مرمى البصر حتى أصبح المكان يُحَس به وتشم له رائحة كموطن أو بيت.

أثرت الحياة في الأرض تأثيرًا دراميًّا، أحدثت رجة تكتونية خاصة بها، وليس هناك ما يوضح هذا التأثير أفضل من الأشياء التي فعلتها الحياة بالهواء. نشأت الحياة في جو هو خلطة خاصة من الجيل التالي من الغازات الخارجة من منطقة باطن الأرض المليئة بالفتحات، وهذا الجو يعد من روائع

زمنه، ومن المرجح أنه قدم الأوضاع المثالية لكيمياء الحياة حتى تستطيع أن ترسخ أولى خطى أقدامها المترددة، ولكن هذا الجو لم يكن من نوع الهواء الذي يمكن للأغلبية العظمى من الكائنات الحية الحديثة أن تصفه بأنه «منعش». أهم ما نلحظه أن ذلك الجو لم يكن فيه أوكسجين حر. أجل، كانت هناك ذرات أوكسجين تبرز رأسها مهتزة ومعها سماعاتها من الهيدروجين، وهي داخل بخار الماء السائد في الجو، ولكن الهواء كان يخلو تقريبًا من أي من ذرات الأوكسجين المقترنة في أزواج، الأوكسجين النقي، غاز (أ٢) الذي نحتاج إليه لنتنفسه. الجو الآن يتكون في ٢٠ بالمائة منه من (أ٢). من الذي وضع فيه هذه الأزواج من ذرات الأوكسجين؟ إنها أسلافنا التي ضحت بنفسها واسمها «سيانوبكتريا» (البكتريا الزرقاء): حصائر كبيرة طافية من ميكروبات تتغذى بالشمس، خلايا شمسية الهوى تصنع من الشمس كل ما هو حلو. السيانوبكتريا تسمى أيضًا بالطحالب الخضراء المائلة للزرقة، وهي من بين أول ما عرف من أشكال الحياة، وقصتها قصة نجاح عظيمة. هذه البكتريا هي فيما يحتمل أول من تمكن من فن التمثيل الضوئي، فن عملية تجري بخطوات تدريجية تتحول فيها الطاقة الشمسية والمياه والكربون إلى سكر، المادة الصالحة لكل أغراض تغذية الخلية. ضوء الشمس يسقط بوفرة، ثم الماء — حسن، «إنها» بكتريا مائية. أما مصدر الكربون لها، فإن لديها الفقاعات، فقاعات ثاني أكسيد الكربون التي تفور في المياه آتية من الهواء، وتبتلعها بنهم حصائر السيانوبكتريا. تأخذ هذه البكتريا من ثاني أكسيد الكربون ما تحتاجه من ذرات الكربون وتخبزها لتتحول إلى مواد كربوهيدراتية، خبزها اليومي، وتفرز خارجًا الأجزاء التي لا تستطيع استخدامها، ثنائيات ذرات الأوكسجين، غاز (أ٢) الجبار. على أن الهواء بقي زمنًا طويلًا بلا تغيير يزعجه، ذلك أن كل الفضلات من الأوكسجين التي تخرج من مزارع البكتريا العتيقة المزدهرة في كوكب الأرض بأسره، كل هذا الأوكسجين بدلًا من أن يبقى في الهواء فإنه يتحول إلى صدأ بالمعنى الكامل الحرفي للكلمة. المحيطات غنية بالحديد — حديد ذائب في الماء أو معرّق في الصخور المغمورة — والحديد له ألفة شديدة بالأكسجين.

ظل الحديد في المحيط طوال أول بليون سنة أو ما يزيد من نشاط التمثيل الضوئي وهو يمتص الأوكسجين ببراعة، وحتى الآن نجد أن معظم كل ما صنع من الأوكسجين على مر تاريخ الأرض قد بقي محبوسًا في مستودعات قديمة من صخور حمراء صدئة.

وما زالت الحياة تواصل خطواتها، وتظل تنتشر حصائر البكتريا حتى تم منذ ما يقرب من بليوني سنة تأكسد كل ما يوفره البحر من حديد مكشوف، تأكسد كله إلى حد التخمة بالأوكسجين، وأخذ فائض الأوكسجين يتسرب إلى الجو. مع تراكم هذا الأوكسجين أخذ بعض منه يتفاعل مع نفسه من آن لآخر ليكوّن ($أ_٣$)، طبقة من الأوزون، ساعدت بدورها على أن تعترض طريق الموجات فوق البنفسجية الآتية من الشمس. هكذا أخذت أوضاع الحياة بأسفل تصبح بانتظام أوضاعًا أفضل للنمو، من حيث العدد، والنوع، والتنظيم. يتيح درع الأوزون للحياة أن تستعمر الأرض دون خوف من حرارة تشوي، في حين أخذ العدد المتزايد من ذرات الأوكسجين الثنائية يشعل شرارة الثورة الهوائية الكبرى.

لا تزال السيانوبكتريا موجودة حتى الآن، وعدد أنواعها يقرب من ٧٥٠٠ نوع، والكثير من هذه السلالات هي بكتريا لا هوائية مثلما كانت أسلافها، وهي تؤدي مهام حياتها اليومية دون حاجة إلى الأوكسجين. بل الحقيقة أن تعرضها للأوكسجين يقتلها، كما يفعل مع كل الميكروبات التي تكون حصريًّا لا هوائية، بما في ذلك البكتريا التكافلية التي تحيا في أمعائنا، والجراثيم الأقل لطفًا التي تسبب أمراض التيتانوس والتسمم البتيولي[١٠] أو الوشقي. الأيض بالأسلوب اللاهوائي له فوائده: فهو يتيح للميكروبات اللاهوائية أن تبقى حية حيث لا يستطيع أي شيء آخر أن يعيش، وهو داخل أجسادنا يتيح لخلايا العضلات الفرصة لأن تنقبض في نوبات قصيرة من النشاط الشديد عندما تعجز دماؤنا عن توصيل الأوكسجين المطلوب في الوقت المناسب. على أن الأوكسجين يُعد وقودًا ممتازًا عندما نعرف كيف

[١٠] التسمم البتيولى: تسمم خطير ببكتريا البتيولين التي توجد في الأسماك المحفوظة بطريقة غير صحية. (المترجم)

نحرقه، والخلايا التي تستمد الطاقة هوائيًا تظل تعمل لفترات أطول كثيرًا وبكفاءة أكثر من نظيرتها اللاهوائية. تستطيع السلالات الهوائية من البكتريا أن تنقسم بمعدل أسرع من السلالات اللاهوائية بثلاثين إلى خمسين مرة. وإذا كان الواحد منا يستطيع أن يعدو سريعًا لمدى دقيقة أو دقيقتين لا غير بالاعتماد على ثمار الأيض اللاهوائي وحده، فإنه إذا استطاع أن يبطئ جريه إلى خطوات تقاس بحيث يتيح لجهاز الدورة الدموية الفرصة لتوفير الأوكسجين اللازم، وبحيث يظل يجري لساعات أو حتى طول اليوم إذا كان يتدرب للدورات الأوليمبية، أو إذا كان مدينًا بالكثير من المال لمصدر إقراض غير رسمي في نيوجيرسي.

تصاعدت تركيزات الأوكسجين إلى ما يقرب من نسبة ١ في المائة من مزيج الجو الغازي، وكان هذا منذ وقت ما بين ١,٥ بليون سنة إلى البليونين، وعندها ظهرت أول ميكروبات هوائية، أول كائنات حية وحيدة الخلية تستطيع أن تستغل الأوكسجين السابح في حرية ليوفر الطاقة لعملياتها الداخلية. أخذت الميكروبات الأوكسجينية تنقسم بسرعة متزايدة بادئة صعودها في طريقها للهيمنة وهو صعود كان أحيانًا تعوقه الصخور. تحتشد الميكروبات الأوكسجينية لتطرد الميكروبات اللاهوائية أو هي أحيانًا تحتويها كصنوف فرعية تحت دثارها الأكثر امتلاء بالنشاط، تحتويها لا لشيء إلا لتأخذ في استهلاك الأوكسجين الذي توفره تلك الكائنات الخضراء المائلة للزرقة المنافسة لها. قد تنهار الهوائيات وتزدهر حياة اللاهوائيات ثانية، وتعود مستويات الأوكسجين للارتفاع. لا بد أنه حدث لأحد هذه الأشكال السابقة من الحياة أن استفاد من الخطة الثنائية للوجود على قيد الحياة، خطة حرق الأوكسجين عندما يكون ذلك ممكنًا، والتحول عند الضرورة إلى استراتيجية بديلة خالية من الأوكسجين، وتكون هذه الاستفادة بمعنى أنه بالفعل قد حدث هذا، قد وقع هذا، وكان منه شيئًا ممتازًا. الخلايا ذات النواة الحقيقية هي أول خلايا دثرت مادتها الوراثية داخل نواة لتغدو إلى جانب ذلك جيدة التنظيم وجيدة في ترتيب حجيراتها بالمقارنة بالخلايا البكتيرية، ومن المعتقد أن أول هذه الخلايا نتجت عن اندماج قديم

بين أنواع منفصلة متميزة من الخلايا. ربما يكون ذلك قد وقع كحادث من صدفة، وربما تكون عملية استحواذ قاسية انتهت بنهاية مثل القصص الخيالية، لا أحد يعرف، لكن طريقة تنظيم خلايانا من حيث الجزيئات والأيض، هي وكل الخلايا ذات النواة الحقيقية، تطرح أنه حدث مبكرًا لخلية ما لا هوائية كبيرة — ليست من الطحالب الخضراء المائلة للزرقة وإنما خلية لا هوائية تتغذى بأكل الخلايا الأخرى وليس بتركيب طعامها من مادة النشا — حدث مبكرًا أن هذه الخلية إما أنها اندمجت مع خلية هوائية أصغر، أو أنها ابتلعتها، أو أصيبت بعدوى منها. بدلًا من أن تُهضم الخلية الهوائية إلى قطع غيار، ظلت هذه الخلية الصغيرة حية في الحرم السيتوبلازمي المقدس للخلية الأكبر، وهناك نشأت أول أعظم المشاركات التكافلية في العالم. تحمي الخلية الأكبر الخلية الأصغر وتغذيها لاهوائيًّا كلما حدثت ندرة في تركيز الأوكسجين، بينما تقوم الخلية الأصغر بتوفير الطاقة لراعيتها عن طريق التنفس الهوائي وذلك كلما انتشرت جزيئات الأوكسجين في الداخل الجيلاتيني للميكروب المدموج لتثير اهتمام الخلية الهوائية. هذا النوع المبكر من الخلايا التي تُحول بضغطة زر مصدر طاقتها؛ كان نوعًا أخرق إلى حد ما، ولا بد أن هذه الخلايا قد تعثرت في طريقها ووصلت إلى عدد من النهايات أو الممرات المسدودة وهي تناضل لتعالج مهمة انقسام الخلية التي تعقدت بالحاجة إلى نسخ وتحليل نوعين من الخلايا، بدلًا من نوع واحد، تحليلًا صحيحًا، وذلك بدلًا من أن تكون العملية بالنسبة لنوع واحد. لكن ما تأسس جديدًا في هذه الخلايا من مرونة في الأيض وبراعة كيميائية قد أكسبها المزايا الكافية لأن تزدهر وإن كانت تستغرق وقتًا للانقسام أطول مما يحدث مع الخلايا الهوائية الخالصة.

نرى اليوم أنقى تعبير عن هذا التحالف القديم في خلايا الخميرة، التي تُعد الأكثر «بدائية» بين الخلايا ذات النواة الحقيقية، ولكن ذلك لا يجعلها أقل جدارة لأغراض خبز العيش وتحميصه. خلايا الخميرة لها أطوارها الهوائية وغير الهوائية المتميزة: يأخذ أول طور في تزويد شرابنا من البيرة بالفقاقيع، والطور الثاني يخمرها. على أن كل الخلايا ذات النواة الحقيقية

تحمل برهانًا حيًّا على هذا التحالف الأولي. لو نظر الواحد منا إلى أي خلية من جسدنا تحت ميكروسكوب قوي، فسيجد ما يسمى بالميتوكوندريا، تلك الأجسام المخططة بشكلها الشبيه بالسجق، حيث يُحرق الأوكسجين وتتحول جزيئات الطعام إلى حزم من الطاقة، لتختزن أو يتم إنفاقها حسب الحاجة. هذه الميتوكوندريا هي السلالة المنحدرة من الخلايا التي كانت فيما سبق تسبح حرة؛ وعلى الرغم من أن الميتوكوندريا قد تخلت من زمن طويل عن أن تبقى حية بذاتها، فإنها تحتفظ بأجزاء من حريتها السابقة فيما لديها من مخبوء صغير من الجينات. يختلف دنا الميتوكوندريا عن جينوم الخلية الأكبر حجمًا بكثير والمخزن في النواة، وعدده المحدود من الجينات التي تشفر البروتينات المخصصة لشئون هوائية ولإنتاج الطاقة. لا يوجد أي عنصر آخر في مكونات خلايانا الكبيرة المزدحمة يكون له ولو حتى هذا القدر المتواضع من الاستقلال الذاتي الجينومي. هذا الاستثناء للميتوكوندريا قد نُص عليه في اتفاق الحل الوسط الأصلي للخلية ذات النواة الحقيقية، ولم يُخرق قط هذا الاتفاق خلال ما يزيد عن بليون سنة من التطور.

هناك أمثلة أخرى مبكرة لما يحدث عندما تتجمع قدرات الخلايا معًا في مستودع واحد. من المعتقد أن خلايا النباتات الحالية هي نتاج مواجهة قديمة تمت بين خلية سيانوبكتريا بما فيها من نظام كيميائي نفيس للتغذية على الشمس، وبين خلية هوائية تستطيع الاستفادة من ثروة الأوكسجين في الهواء. تصديقًا لشروط هذا الاقتران القديم، تعيش النباتات الحديثة نوعًا من الحياة المزدوجة كشخصية دكتور جيكل ومستر هايد. أثناء النهار تقوم الطاقة الشمسية بتنشيط ماكينة النباتات للتمثيل الضوئي، فتستنشق ثاني أكسيد الكربون إلى داخلها وتصنع سكرياتها، وتزفر الأوكسجين خارجًا، بأسلوب يذكرنا بالسيانوبكتريا. أما في الليل، فإن النباتات تستعيد ثانية كميات صغيرة من ذلك الأوكسجين، وتعيد امتصاص الغاز عن طريق الانتشار وتستخدمه في المساعدة على نقل غذائها المصنوع منزليًّا في أرجاء النبات كله.

مع كل دورات التنقل جيئة وذهابًا بين الحياة الهوائية واللاهوائية، أخذ مستوى الأوكسجين في الجو يتزايد تدريجيًّا حتى وصل منذ ما يقرب من ٤٠٠ مليون سنة إلى تركيز يماثل كثيرًا ما نراه الآن، كخمس لكل الهواء — وإن كانت هناك تراوحات إلى أعلى وأسفل مستمرة من وقتذاك. ينوه العلماء بالإمداد العارم بالأوكسجين على أنه في الأرجح هو الذي أثار عددًا من هزات تطورية كالزلازل. إحداها هي وفود حياة الكائنات المتعددة الخلايا منذ ما يقرب من ٧٠٠ مليون سنة، عندما حدث أن الخلايا ذات النواة الحقيقية — وكانت حتى وقتذاك منفصلة — أخذت تتجمع معًا في عشائر تعتمد إحداها على الأخرى وتتخذ مهام متخصصة — سأكون أنا أجزاء الفم إذا عملت أنت كأنبوبة للمعى. هناك هزة أخرى تسمى بالانفجار الكمبري نتج عنه مؤلَّف حقيقي عن الحيوانات، ومهرجان من الحياة الحيوانية في مناطقها، بما في ذلك أسلاف كل المجموعات الأساسية من الحيوانات التي تعيش الآن. وكان هناك في العصر الكربوني،[١١] منذ ما يقرب من ٣٠٠ مليون سنة مفصليات لها أحجام هائلة، ووقتذاك كان لحشرات اليعسوب أجنحة كأجنحة الصقر وكانت العقارب في حجم الظربان؛ يُرجع بعض الباحثين أيضًا هذا الحجم الضخم لمفصليات العصر الكربوني إلى الارتفاع الحاد في تركيز أوكسجين الجو، نتيجة للنمو الأُسي للنباتات الوعائية. بل حتى في وقتنا الحالي، نجد أن مناطق التركيز المرتفع نسبيًّا للأوكسجين كثيرًا ما تكون موطنًا لأنواع لافقاريات كبيرة بحجم غير معتاد. توجد أكبر قناديل البحر الهلامية وأكبر الديدان البحرية في أبرد مياه المحيطات وهي المياه الأكثر ثراء بالأوكسجين. على أن العلاقة بين الحجم العملاق والأوكسجين ليست علاقة مطلقة؛ في حدود مايمكنني قوله، فإن الحشرات الحضرية التي تقطن في أماكن سيئة التهوية، مثل الخزانات والأقبية، يبدو أن لديها قدرة مكتملة على التحول إلى حجم عملاق بالعيش على الحقد وحده.

[١١] العصر الكربوني: الدور الخامس من حقب الحياة القديمة الباليوزي، ويتوفر الفحم بين صخوره، وهو بقايا نباتات غير مزهرة كانت تزدهر من قبل في غابات شاسعة. انتهى هذا العصر منذ ما يقرب من ٢١٥ مليون سنة. (المترجم)

هناك عملية لا تنقطع من الأخذ والعطاء بين ما هو بيولوجي وما هو جيولوجي، عملية لا تتوقف عند الأوكسجين. يتم تدوير الكربون في لوالب هائلة متقاطعة، خلال الماء، والهواء، والوحل، وهيئة الجسم وهو حي وكذلك وهو ميت، هكذا ينجرف الكربون آنًا إلى الجو في شكل غاز ثاني أكسيد الكربون، ثم يغوص آنًا داخل الرواسب كغابات من نباتات متعطنة من نوع عاريات البذور، يتسلل الكالسيوم كالثعبان خلال الصخور، والماء، وصدف البحر، وخلايانا. يلعب الحديد وغيره من العناصر النادرة التركيز دورًا محوريًّا في الكيمياء الحيوية الخاصة بالجسد، وكذلك أيضًا في الكيمياء الأرضية العامة للمحيطات، وما يحتكره أحد الأطراف من مقادير في لحظة معينة يؤثر في الإيقاعات والاحتمالات عند الطرف الآخر.

نحن نعيش فوق عالم كفتاة الشعر الذهبي، ونتبع طريق الكنز عبر النظام الشمسي. هيا نقترب أكثر إلى أحد الكواكب، إلى الزهرة، سنجد أن متوسط الحرارة هو ٩٠٠ درجة فهرنهيت. هيا نثب عبر أخدود إلى المريخ، لنجد أن الحرارة (–٧٥) درجة. الأرض مناسبة تمامًا للحياة، والحياة قد تشبثت بسطح الأرض لما يزيد عن ٣ بلايين سنة، وتتشبث أحيانًا بسطح أسنان الأرض: لقد انقرض ٩٩ في المائة من كل الأنواع التي عاشت عليها. ربما يكون لدينا نحن البشر على نحو استثنائي استبداد متغطرس وخرق في أداء تعاملاتنا الأرضية، لكن الأرض وحياتها أكبر كثيرًا منا، وسوف يستمران سواء كنا نحن سنستمر أو لن نستمر. لعلنا في حاجة لأن نبتعد عن هذا كله، لنأخذ عطلتنا النهائية بعيدًا عن هذا الطريق لنذهب إلى موضع ما في السماء. حان الوقت لإقامة صرح المسرح الشعبي لعصر الفضاء، ولأن تضع الأسرة ميزانية رحلاتها للطيران في الفضاء، رحلات ظللنا نتوقع أن نقوم بها منذ أن أعطتنا «ناسا» مسحوق «تانج» لصنع الشراب السكري.[١٢] من حق كل فرد أن ينال الفرصة لممارسة النهضة الكبرى، نهضة من الواضح

[١٢] «تانج»: إسم تجارى لمسحوق معلب يذاب القليل منه في الماء ليعطي شرابًا سكريًّا بنكهات مختلفة. استخدمت «ناسا» هذا المسحوق ليستعمله رواد الفضاء في رحلاتهم، فانتشر بعدها جماهيريًّا. (المترجم)

أنها آتية مع الخروج من انتمائنا الإقليمي. يعطينا رواد الفضاء شهادتهم على ذلك المرة بعد الأخرى، الشهادة على ما يحدث في لحظة التحول عندما ينظرون لأول مرة إلى أسفل ليروا التوحد في كُريّة الأرض التي تبدو كالبلية الزرقاء اللامعة، موطنهم الوحيد، ثم إن الأرض تعيد النظر إليهم لتقول: «أنا أعرف».

الفصل التاسع

علم الفلك

مخلوقات سماوية

إن أكثر ما يتذكره الكثيرون منا من الكتب والقصائد والتحذيرات الهزلية في الطفولة، كله له علاقة بعلم الفلك. تعلمنا أن نذكر أمنياتنا مع ضوء النجم، وسطوعه، ومع أول نجم نراه ليلًا، ويتفق مع ذلك أن كان يثقلنا الارتباك والبلبلة فيما يدور حول التمييز الدقيق للدلالة اللفظية بين العبارتين «أتمنى أن أكون» و«أتمنى لو كنت». كانوا يسألوننا هل نتمنى «أن نتأرجح فوق أحد النجوم» لنكون في حال أفضل مما نحن عليه، أو أننا نود أن نستقر في الحياة كحيوانات مزرعة قذرة جاهلة في ثوب مزرٍ. وكنا بالنيابة عن ذلك الأرنب الذي يرتدي منامة مخططة نلقي تحية المساء: «مساء الخير أيها القمر»، ومساء الخير أيتها البقرة الواثبة فوق القمر، ومساء الخير أيتها الدببة والكراسي، والنجوم والهواء، والفرشاة، والعصيدة، وأنت أيضًا أيتها السيدة العجوز التي تهمسين لنا أن «اخرسوا»، ومن تكونين على أي حال وكيف دخلت إلى غرفتي الخضراء الكبيرة؟

ومع أني نشأت في حي برونكس، حيث أي أضواء لامعة تراها بأعلى هي في الغالب أضواء طائرة هليكوبتر للشرطة، فإني كان لي أحلام تتغنى بالسماء. كنت في أحد أحلامي المفضلة وأنا في الخامسة من عمري أحلم

بأن عائلتي تقضي الإجازة في الريف، وأن هناك من ناداني لآتي وأنظر إلى مجرة درب اللبانة، وعندما هرعت إلى الخارج وحدقت لأعلى، تفجرت السماء بموسيقى رنانة مثل موسيقى عربة «السيد سوفتي» لبيع الآيس كريم، وأمطرتني برذاذ من اللبن، كم كان هذا حلمًا بسيطًا ممتعًا، وكم كنت حسنة الحظ بأني لم أكن ممن يبللون فراشهم ليلًا!

نحن جميعًا مفتونون بالنجوم منذ البداية، وتسحرنا سماء الليل المخملية الموشاة بالترتر اللامع، ونتوق آنًا إلى أن نجذبها عن قرب كالأم، وآنًا إلى أن ننكمش تحت جموع ماساتها الصافية. سرعان ما نتمكن بعدها من أن نلتقط القليل من كواكبها الأسهل في التعرف عليها: كوكبة الدب الأكبر بالتأكيد، وربما كوكبة الدب الأصغر أيضًا، والجبار (أو الجوزاء) بشكله البسيط المستطيل، وحزامه وسيفه اللامعين، ثم الخط المتعرج للنجوم الخمسة في ذات الكرسي. وتعلمنا أن نميز بين النجوم والكواكب حسبما تومض أو تسطع، ذلك لأن النجوم بعيدة فتبدو نقط ضوء في السماء، وهذا الضوء ينحني ويتعثر بسهولة بما في جونا من اضطراب، والكواكب قريبة بما يكفي لأن يمر إشعاعها خلال الهواء دون معاناة إلا من أقل انحراف أو انكسار، ومن ثم فإن الكواكب تسطع واضحة دون أن تومض. بل إننا في الحقيقة إذا استخدمنا تليسكوبًا عاديًّا مما ينصب في فناء البيت الخلفي، وكانت الظروف مناسبة؛ نستطيع أن نرى الوجوه المستديرة الممتلئة الخدين لأشقائنا في المنظومة الشمسية: المشترى وبقعته الحمراء، وهي في الحقيقة إعصار عملاق من الغاز بحجم هائل يكفي لأن يبتلع ثلاث كرات أرضية، وهو إعصار ظل باقيًا لأربعمائة سنة على الأقل، وهناك زحل وعلاماته المميزة من حلقات الثلج والغبار والصخر التي تشبه طارة لعبة الهولا هوب، ثم هناك المريخ بلونه كاليوسفي، والزهرة بلونها الأبيض كالقمر، لكنه حتى عند استخدام أقوى ما عندنا من التليسكوبات، لن نتمكن من أن نرى بدقة قرص أي نجم خارج المنظومة الشمسية، مهما كان حجم هذا النجم كبيرًا؛ فالنجوم كلها أبعد من أن نحدد حجمها ونحللها مثل أي شيء، فيما عدا أنها مجرد نقط من الضوء.

ونظل نحدق ونحدق ليلًا، باحثين عن شيء، أي شيء، لنفهم معنى هذا السكون المرعد، وكأنه صوت الراوي الخفي للمسرحية، أو تمثيل بإيماءات البانتوميم، أو مباراة تصحيف الكلمات،[1] أو اتصال فكري باللمس مع مخلوق من كوكب فولكان.[2] ألا يمكنكم أن تقولوا فحسب أي شيء؟ ألا تسمعوننا؟ ها نحن هنا! وبينما نحدق نرى خيطًا من الضوء، وكأنه خدش أبيض لقط بري يمزق شاشة سوداء ساكنة، ونحس في كل مرة بالإثارة، ونمتلئ مرة أخرى بآمال بلهاء. نجم بذيل! رأيت نجما بذيل! أرأيته حقًّا؟ حسن، عليك لا غير أن تواصل النظر. سترى أنت أيضًا واحدًا منها. آهٍ، نحن نعرف أنها ليست نجومًا، إنها نيازك، حطام فضائي، أجزاء من صخر ما بين الكواكب تتناثر في منظومتنا الشمسية، ومع أن معظمها صغيرة الحجم تمامًا، ليست أكبر من كرية كالبلية، فإنها تميل بقطع مكافئ وهي تسير خلال الفضاء بسرعات بالغة بحيث إن الواحد منها عندما يصطدم بالأرض تؤدي قوة الاحتكاك إلى أن تلتهب الصخرة ويستطيع المتفرجون المربوطون إلى الأرض أن يرقبوا على نطاق آلاف من الأميال الصخرة المشتعلة وهي تحيينا جميعًا بتمني مسار طيب ناصع.

تعرض المذنبات عروضًا من كوميديا تراجيدية في أفلام حية، وهي هكذا تجعل من السهل علينا بوجه خاص، نحن البشر المحدثين، أن نحبها ونؤنسها، على أنه أثناء قيام الأرض بحجّها الدائري، في إذعان، حول الشمس، تظهر النجوم والكواكب الأخرى وهي تسير أيضًا عبر السماء وقت الليل. ثم القمر، وهو يدور حول الأرض ويتورم وينكمش ليتورم ثانية، ليس بطريقة عشوائية، وليس بطريقة قرص لعبة اليويو،[3] وإنما بطريقة ضربات ساعة تعمل بتدقيق شديد، ولم تفت القدماء أي حيلة أو خدعة فيها. وبمثل ما في مدارسنا للحضانة من الأغاني المقفاة، والكتب الكرتونية للتعليم بالصور،

[1] مباراة تصحيف الكلمات لعبة هدفها تشكيل كلمات جديدة بتغيير عشوائي لحروف كلمة ما. (المترجم)

[2] كوكب فولكان: كوكب خيالي في مسلسل «ستار ترك» مخلوقاته لها القدرة على استخدام اللمس لتبادل الأفكار والخبرات والعواطف. (المترجم)

[3] اليويو: لعبة من قرص أو جسم أسطواني من البلاستك أو الخشب مربوط بخيط طرفه الآخر معلق بالأصبع ليحركه إلى أعلى وإلى أسفل. (المترجم)

فإن المصنوعات الأولى للحضارة تلقي ضوءًا كاشفًا على افتتاننا منذ القدم بالأنوار في العلا. منذ ما يقرب من ٣٥٠٠٠ سنة عاش نحّات ممن يحدقون في السماء، فيما يعرف الآن بجبال «ليبومبو» بجنوب أفريقيا، ونحت تسعًا وعشرين نقرة في عظمة قرد بابون على مسافات متساوية، ومن المرجح أن كل حفرة منها تمثل طورًا من أطوار القمر. هناك حرفيون آخرون من عصر البليوستوسين خلفوا وراءهم عظام نسور عولجت بطريقة مماثلة في مواقع ليست بعيدة عن رسوم كهف «لاسكو» الشهيرة بفرنسا. نقش الباحثون من قدماء الصينيين خرائط فلكية بالحفر في العظام وصدف السلحفاة، وسجلوا فيها مسار النجوم والكواكب وعينوا المئات من الأبراج. من المعتقد أن نصب ستونهنج[٤] الصارم المصنوع من الحجر غير المنحوت، هو ومدينة «باليتك» التي تنتمي لحضارة المايا كليهما قد استخدم كمرصد فلكي، وقد نظمت بنيتهما للاستفادة استفادة كبيرة من ضوء الشمس عند الانقلاب الصيفي للشمس، وهو يوم مقدس في ثقافات كثيرة. يمكننا أن نقدم الشكر لقدماء البابليين والإغريق عن نظام الأيام السبعة لأسبوعنا، فهم قد رصدوا بدقة سلوك الشمس والقمر وخمسة «نجوم» مراوغة نعرف الآن أنها كواكب — وهي الكواكب الخمسة التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة — وهي نسبيًّا قريبة جدًّا منا وتنزلق بوضوح عبر السماء، وتغير على نحو ملحوظ موضعها إزاء الخلفية النجمية من ليلة إلى أخرى. (كلمة «كوكب» الإنجليزية مشتقة في الحقيقة من كلمة «الجوّال» بالإغريقية). سُميت أبرز سبعة أجرام سماوية بأسماء الآلهة صاحبة السلطة في ذلك العهد، وحيث إن كل إلَه لا بد وأن يكون له يومه، فإن أسماء الأيام حذت حذو ذلك. غيرت الإمبراطورية الرومانية وقواتها الحامية الجرمانية، من أسماء الآلهة الإغريق وتركوا العقائد الأساسية للبانثيون الإغريقي سليمة؛ ومع أن الترجمات الأنجلوساكسونية لأسماء الآلهة يمكن أن تسبب تعتيمًا على بعض الصلات الموجودة في الإنجليزية بين أسماء الأيام وإسقاطاتها السماوية، فإنه إذا كان لدينا ولو

[٤] ستونهنج: أثر حجري في إنجلترا تنتظم فيه الحجارة دائريًّا. (المترجم)

حتى دراية سطحية بأي لغة من أصل لاتيني كالإسبانية أو الفرنسية، فسوف يمكننا عندها أن نجمع معًا أجزاء اللغز الصغير السماوي لأصل الأسماء. يوم Sunday (الأحد) هو يوم Sun (الشمس). ويوم Monday (الإثنين) هو يوم Moon (القمر). وTuesday (الثلاثاء) هو بالإسبانية martes (المريخ) وهو هكذا (Marsday). ويوم Wednesday (الأربعاء) هو miércoles أو يوم Mercury (عطارد). يوم Thursday (الخميس) هو Jeuves وهو يوم Jupiter (المشترى). يوم Friday (الجمعة) هو viernes أو venusday (يوم الزهرة). ويوم Saturday (السبت) هو يوم Saturn (زحل) وهو اليوم المفضل لي، يوم إلهام بلا قيود في احتفال صاخب، أو قد يكون يوم كآبة ممتدة بلا أمل تحت تأثير زحل.

خلال كل العصور كان ينظر لمن لديهم المعرفة الحكيمة بطرائق السماء باعتبارهم كبار الكهنة والحكماء، الذين يلتمس منهم الإرشاد بصدد وقت زرع المحاصيل، والتودد إلى الحبيب، والانطلاق في رحلة، وغزو بلد آخر. رأى الناس أن هناك تعاقبًا قابلًا للتنبؤ لمسار النجوم عبر المنصة الكونية فيه علامات للمشيئة الإلَهية، علامات لوجود بنية ويقين هما بغير ذلك لا وجود لهما في حياتهم. مَن مِن بين الذين على الأرض بأسفل يستطيع أن يعرف إن كان الغد سيجلب الولائم أو المجاعات، المرض أو الجراد؟ هناك في أعلى، يُعرف ماذا سيأتي في الربيع القادم، سيظهر برج السنبلة العذراء في سماء الجنوب الشرقي. هكذا يُنظر لمصير البشرية على أنه مرتبط بالنجوم، وهو اعتقاد نتج عنه أكاسير العلاج الخيالية بالتنجيم كما نتج عنه أيضًا مولد الاقتصاد الكوكبي. عندما ثبت التجار الأوائل أنظارهم على الغمزات الدائمة التي يغمز بها النجم القطبي، نجم الشمال، أمكنهم أن يجتازوا أسوأ البحار غموضًا وتبينوا رغم ذلك طريقهم للعودة في الظلام.

ربما لم يعد علماء الفلك الآن يعدون من بين أفراد الكهنوت الثقافي، بل إنهم أحيانًا يشكون من أنهم يساء فهمهم على نحو كوميدي. يقول ألكس فيليبنكو عالم الفلك في جامعة كاليفورنيا: «أنا لا أصنع أي خرائط للأبراج لكشف الطالع، ولست منجمًا فاشلًا.» على أن علماء الفلك هم أساسًا من بين

العلماء الذين ينالون أقصى الإعجاب والحب، وهم يعرفون ذلك، ويحبون ذلك، يقول تشاك ستيدل أستاذ علم الفلك في معهد كالتك: «نحن نتمتع بتقدير جماهيري له قدره، ونـنال من الصحافة أكثر من نصيبنا العادل. يذهلني دائمًا عندما أذهب إلى طبيبي أو إلى طبيب الأسنان أن أجد قائمة أسئلة طويلة تنتظرني عند وصولي.»

ويضيف قائلًا: «بالمقارنة بشيء مثل فيزياء الطاقة العالية، يمكنني القول إننا حقًّا في حال أكثر سلاسة وراحة.»

من السهل جدًّا أن نحب علم الفلك، فهو علم مليء بسحر مثير هو فيما يتفق حقيقي أيضًا: هناك نجوم النوفا المستعرة ونجوم السوبرنوفا، والنجوم النابضة التي تلف وتطقطق وهي في سمك قلب الذرة أو في سمك السيد مارك عند جيمس جويس،[٥] ثم هناك تلك الجثث من النجوم المتقلصة الأكثر سمكًا وظلامًا واسمها الثقوب السوداء، ويبلغ من كثافتها أنه لا يستطيع شيء أن يفلت من قبضة جاذبيتها، ولا حتى الضوء، وهناك أيضًا الكوازارات؛ الأفران السماوية عند أطراف الكون المعروف لنا، وحجمها مثل حجم النجوم ولكنها لها ضياء مجرات بأكملها، ثم هناك أمور معقولة نظريًّا مثل وجود أبعاد إضافية أكثر من الأبعاد الأربعة التي نعرفها، أو هناك تغضن المكان — الزمان في طرق مختصرة تسمى «الثقوب الدودية» وهي إن كان لها وجود فستكون مرادفة لآلات السفر في الزمان. علم الفلك علم عن السماوات، أكثر الجبهات النهائية قدسية، والعنوان الذي يفترض أنه يسكن فيه الآلهة: رع، وفشنو، وزيوس، وأودين، وتزكاتليبوكا،[٦] ويهوا وأبانا الذي في السموات، وحشد من مقدسات أخرى، وهذه الأصداء الدينية توسع إلى حد ملحوظ من جاذبية هذا الفرع المعرفي، وتجعله يثير شعورًا بأنه أكثر دفئًا وعمقًا مما قد يكونه بغير ذلك. علم الفلك يبدو أيضًا أكثر طهارة من العلوم الأخرى، وأنقى قلبًا، وأقل احتواء على عوامل التلوث والطفر والتشوه، وتجارب الحيوانات. وسواء أكان ما يقال

---

[٥] إشارة إلى الكوارك الذي أخذ اسمه من قصيدة في رواية لجيمس جويس. (المترجم)
[٦] أسماء آلهة عند قدماء المصريين والهنود والإغريق والإسكندنافيين والمكسيك، حسب الترتيب. (المترجم)

منصفًا أم لم يكن، فإن الفيزياء تعد مصاحبة للقنابل النووية والنفايات النووية، والكيمياء مصاحبة للمبيدات الحشرية، والبيولوجيا مصاحبة لأغذية فرانكنشتين، وتصميم جينات لاستنساخ أطفال فائقي القدرات. أما علماء الفلك فهم مثل سياح في العالم الإيكولوجي يحسون بمسئوليتهم، ويحدقون في المشهد بأجهزة بصرية بأرقى نوعية، ولا يأخذون معهم شيئًا إلا صورًا قد تُدَعَّم بالكمبيوتر لتوزع جماهيريًّا، ولا يخلفون وراءهم شيئًا إلا القليل من طبعة أقدام عربات «لاند روفر» فوق تربة المريخ البعيدة، ثم أجل، أجل ربما يتركون أيضًا العربة نفسها. علماء الفلك طاهرو القلب وصبيانيون بطريقة جذابة، وهم ينظرون إلى سماء منتصف الليل ويسألون أسئلة كبيرة، تمامًا مثلما كنا نفعل ونحن في الكلية: من نكون؟ من أين أتينا؟ ولماذا نقف في الخارج في الليلة السابقة للامتحانات النهائية، هل نريد أن ينتهي بنا الحال ونحن نكسب عيشنا من صنع أجزاء المصاعد مثل آبائنا، أم ماذا؟ لم يعد علماء الفلك ينتابهم القلق حول الامتحانات النهائية، وإن كان عليهم أن يقلقوا بالفعل حول تمويل منحهم، أو بناء تليسكوباتهم الجديدة، أو على الأقل ألا تنقطع ميزانية تليسكوباتهم القديمة. على أي حال، فإن علماء الفلك فلاسفة بالحرفة، وهم يسألون الأسئلة الكبيرة: من أين أتينا، وماذا نكون، ولدهشتهم الشديدة فإنهم يجدون إجابات، إن هذه الأسئلة تأتي متدلية من النجوم. من بين الاكتشافات الكثيرة الخارقة للمعتاد في علم الفلك خلال نصف القرن الماضي أو ما يقرب، ينوه علماء الفضاء باثنين منها باعتبارهما الأهم كونيًّا: اكتشاف وتوضيح الانفجار الكبير الذي ضج بأصدائه في كوننا، ثم أهمية النجوم العتيقة أهمية محورية مذهلة في نشأة الحياة على الأرض.

ربما يكون علم الفلك مصحوبًا لدينا بالليل والظلام، لكن إحدى الحقائق في لب هذا الفرع المعرفي هي اعتماده شبه الكامل على الضوء. ويليام بلير أستاذ لعلم الفلك في جامعة جونز هوبكنز، وهو يقول: «الكون لنا علماء الفلك، هو معملنا، والطريقة التي نحلل بها ما يجري في هذا المعمل تكون بواسطة تحليل الضوء. فيما عدا استثناءات نادرة — كما

مع كويكب أو نيزك عارضين — فإننا لا يمكننا أن نضع أيدينا على المادة التي ندرسها، ولكننا نستطيع أن نتعلم قدرًا هائلًا من المعلومات حول الأجرام هناك بالخارج، بأن نفحص أنواع الموجات الضوئية المختلفة التي تبعثها هذه الأجرام عبر الطيف الكهرومغناطيسي. هناك واحد من التفاصيل الصغيرة في هذا المجال أعتقد أن معظم الناس غير متنبهين له وهو أن: كل شيء تقريبًا مما وصلنا إلى فهمه عن الكون قد تعلمناه بدراسة الضوء.» علينا أن نتذكر أن الضوء المرئي، الموجات الضوئية التي تقع فيما يسمى بالمدى المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي — الضوء الذي يومض عائدًا لنا عندما نحملق في السماء — هذا الضوء يمثل قطاعًا ضئيلًا من موجات الضوء التي يدرسها علماء الفلك. صمم هؤلاء العلماء بطارية من أعين إلكتروحيوية لها القدرة على أن تكشف واقعيًّا عن أي إشارة إشعاع مما تقدمه لنا القبة الزرقاء، بدءًا من الضوء فوق البنفسجي، ومرورًا بأشعة إكس، ثم وصولًا إلى العنف البالغ لأشعة جاما ذات الطاقة العالية عند نهاية التدريج من الموجات الأقصر طولًا، وابتداءً كذلك من الأشعة تحت الحمراء، ونزولًا للأشعة الميكروويفية باسمها المضلل، لنصل إلى روابي الطاقة الطويلة من موجات الراديو. ظهر في عام ١٩٩٧ فيلم اسمه «اتصال» أدت فيه الممثلة جودي فوستر دور عالمة فلك شابة شجاعة تحارب في معركة ضد علماء فلك شواذ حقًّا، وضد بيروقراطية من جنس عنيد الغباء كالحمير، وذلك بشأن أبحاث تجريها عن علامات لوجود حضارات خارج الأرض، وسيدرك من اتفق له أن رأى هذا الفيلم ما فيه من لمحات قليلة عن تليسكوب «أريكيبو» الأسطوري الذي يعمل بالراديو وقد بُني في الداخل مباشرة من جانب جبل في بورتوريكو. وهو تليسكوب هائل عرضه ٣٠٥ متر أو ١٠٠٠ قدم، وقطر طبق التليسكوب يعد ببساطة مقياسًا لمدى عرض موجات الراديو الذي صمم لالتقاطها.

يمسح علماء الفلك السماء بأجهزة ضبطت لالتقاط كل ما يمكن من أطوال موجات الضوء، وبهذا توصلوا إلى بعض فهم لنوع وحوش الكون الذي نعيش فيه. تستطيع تليسكوبات الأشعة تحت الحمراء أن تنعم النظر

من خلال سحب الغبار السميكة التي تعمل كحضانة للنجوم في المجرات، وأن تكتشف الإشارات الآتية من أجنة النجوم بداخلها. الدراسات بالأشعة فوق البنفسجية تنير لنا طبيعة النجوم الشابة الضخمة الساخنة، وطبيعة النجوم القزمة العجوز الباردة، والمجرات النشطة، والكوازارات المفرطة النشاط. استخدم العلماء أبحاث المسح بأشعة إكس وأشعة جاما لسبر أغوار الثقوب السوداء، والنجوم النابضة، والسوبرنوفات، والانفجارات الغامضة لأشعة جاما التي يُعتقد أنها نوع عنيف غير معتاد من النجوم المتفجرة. أما أمواج الراديو فتهمس بصوت أجش عن الانفجار الكبير الذي نشأ عنه كل شيء آخر.

كل شعاع ضوء إلى جانب أنه يكشف عن جذوره الأصلية، يتحدث أيضًا عن الرحلة التي قطعها في طريقه للوصول إلى موعد لقائه مع التليسكوب: ما يوجد في الطريق من إقفار نسبي، أو مدى ما فيه من غبار، أو عنف، أو مدى هدوء المناطق التي اجتازها، والكتل التي مر بها، والزمن الذي استغرقه في طريقه، والمصير المرجح للجرم المشع الذي ولد منه منذ زمن طويل جدًّا. إحدى الحقائق الأخرى المعتادة في الفلك، وإن كانت خارقة للعادة، هي أن إلقاء النظر على الفضاء هو أيضًا إلقاء نظرة للوراء في الزمان. الضوء يكون بالغ السرعة عندما يطلق ساقيه ليعدو، ولا يُعرف شيء في الكون يفوقه سرعة، لكن الضوء ليس سريعًا إلى ما لا نهاية، الأمر الذي يعني أنه يحتاج إلى زمن ليصل من النقطة (أ) إلى النقطة (ب). ولما كان الفضاء يمتد شاسعًا، والمسافات بين أي نقطتين فيه بالغة البعد، فإن ما يتكشف لنا من الضوء الآتي من النجوم هو أخبار قديمة. بل حتى الضوء الذي يثب إلينا من سطح أقرب النجوم لنا، أي من الشمس، يحتاج إلى ثمان دقائق لينساب عبر ٩٣ مليون ميل المحشودة بالفراغ قبل أن يتمكن من الهبوط فوق جلدنا المحمي من الشمس حماية معقولة. عندما نرى صورة المشترى بتليسكوب فناء البيت الخلفي تكون هذه صورة الكوكب منذ نصف ساعة، ويكون عمر صورة زحل منذ سبعين دقيقة تقريبًا. لو أنعمنا النظر خارج منظومتنا الشمسية، فإننا عندها ننقب في أرشيف

من تجاويف عميقة، مثال ذلك أننا سنجد في كوكبة «الكلب الأكبر» نجم الشعرى اليمانية، أو نجم «الكلب الجبار» وهو يومض بلمعان يزيد بمِثْلين عن أي نجم آخر في السماء، وكلها أضواء تركت موطنها منذ ما يقرب من تسع سنوات. أو دعنا نثب إلى الدب الأصغر ونتأمل النقطة المميزة فيه عند الطرف من يد الإناء الذي يشكله، ينتمي ضوء هذه النقطة إلى النجم القطبي، نجم الشمال، كما كان يبدو في الماضي حين كان الطفل «ويليام شكسبير» لا يزال يرتدي سراويله القصير.

من المسلم به أن من المرجح جدًّا أن كل شيء تقريبًا مما نستطيع أن ندركه في سماء االيل بالعين المجردة لم يتغير كثيرًا بين الوقت الذي أُرسلت فيه الطاقة المشعة ووقت وصولها إلى الأرض. يستطيع الواحد منا في إحدى الليالي الممتازة للتحديق للنجوم أن يميز من فوق أي موضع أرضي واحد ما قد يصل إلى ٢٥٠٠ نجم، وكل هذه النجوم، كل النقط تقريبًا التي ربط القدماء بينها فوق خرائط ما سموه من الأبراج، إنما تقع في مجرتنا نحن، ومعظمها قريبة تمامًا، وتبعد عن الشمس مئات قليلة من السنوات الضوئية. إذا كان الليل مظلمًا بما يكفي وكان ذلك في الوقت المناسب من السنة، نستطيع عندها أن نرى حزمة الضوء غير الواضحة التي يشار لها بالعامية بأنها «درب التبانة»، نراها وكأنها لا علاقة لها بنا، أو نرى الكلب الأكبر والأصغر، أو الدبين الاثنين، أو أيًّا من البدائل الأخرى في سماء الليل. مرة أخرى، نحن بالطبع نتفرس هكذا من الداخل، وننظر مباشرة إلى مجرة موطننا، ونتجه بنظرنا هذه المرة تجاه القرص المركزي الناتئ حيث تقيم معظم نجوم مجرة التبانة التي يصل عددها إلى ٣٠٠ بليون نجم. يقبع بين الشمس وهذا النتوء ريش كبير كثيف من غاز وغبار ما بين النجوم بما يعتّم على المشهد، ولكن حتى لو أمكننا أن نحملق مباشرة في قلب المجرة، فإننا عندها لا ننظر إلى ما هو بعيد بعدًا هائلًا: نحن في مقرنا الأرضي نتخذ موضعًا عند ما يقرب من ثلثي الطريق أسفل أحد الأذرع الأربعة اللولبية الكبرى لمجرتنا درب التبانة التي تدور مثل الطاحونة الهوائية، وهذه مسافة تبعد عن المركز بما يصل فقط إلى ٢٦٠٠٠ سنة ضوئية. هناك مجرتان

أخريان تقعان مباشرة عند حافة قُدرة العين المجردة على الرؤيا، أشهرها مجرة «أندروميدا» أو «المرأة المسلسلة»، وتقع إلى الجنوب مباشرة من «ذات الكرسي». أندروميدا أبعد كثيرًا من أي من النجوم المرئية، ولكنها لا تزال أقرب جار كبير لدرب التبانة، وتبعد عنها نحو ٢,٥ مليون سنة ضوئية. حسب المقياس الكوني، حيث يتمكن النجم المتوسط من أن يشع على نحو مستقر تقريبًا لبلايين عديدة من السنين، تكون مسافة ٢,٥ مليون سنة ليست إلا طرفة عين. وإذن فنعم، ضوء النجم الذي نراه الليلة ربما يكون عمره مئات أو آلاف السنين أو مليون سنة، ولكن فيما عدا استثناءات قليلة، نجد أن هذه النجوم نفسها لا تزال موجودة هناك، وتحترق لامعة.

على أننا عندما نقضي بعض الوقت مع تليسكوب من نوع قوي للغاية، سنجد أن الكثير من الاحتمالات تختفي، وكذلك أيضًا الكثير من الأضواء. كلما زادت قوة الميكروسكوب زاد بُعْد الأجرام التي يستطيع علماء الفلك رؤيتها. فيستطيعون رؤية ما هو أبعد كثيرًا من درب التبانة، وأندروميدا، والأعضاء الأخرى فيما يسمى بـ«المجموعة المحلية» من المجرات، ويستطيعون رؤية الملايين من المجرات الأخرى التي تبعد عشرات الملايين، ومئات الملايين، والبلايين من السنين الضوئية. ويستطيعون رؤية أسراب وأسراب من المجرات اللولبية بشكلها الذي يشبه كثيرًا مجرتنا نحن، دوامات من الكريمة تدور في القهوة السوداء للفضاء، ويرون مجرات إهليلجية، تبدو كمغارف أرز كبيرة، والنجوم حبوب فيها، ويرون لازمات أغانٍ متكررة على الإهليلج الأساسي وألحانًا لولبية مع انحرافات مجعدة تسمى الشواذ: مجرات في شكل عجلة لعربة نقل بالخيل، وبراميل بيرة، وشرائح لحم، وأقلام رصاص، أو تلك القرود الصغيرة البلاستيكية التي نعلقها في سلاسلنا. يستطيع علماء الفلك أن ينعموا النظر أيضًا داخل هذه المجرات البعيدة وأن يكتشفوا ويحصوا ما فيها من أجزاء: نجومها، وسدمها من الغبار والغاز، بل أحيانًا حتى بعض أدلة على وجود كواكب ومذنبات. هكذا وجدوا مجرات صغيرة فاتنة فيها ١٠٠٠٠ نجم وأخرى ضخمة فيها ٣ ترليونات نجم. وأيًّا كان شكل المجرات وعدد سكانها، فإنها تظهر تماسكًا واضحًا، وتكون العناصر المكونة

لها مربوطة معًا بوضوح عن طريق الجاذبية لتشكل مجتمعات متميزة، حالات ساطعة من نجوم لها مصائر مشتركة. كلمة galaxy (مجرة) تعني «درب اللبانة» وهو اسم ملائم، لأن كل مجرة من المائة بليون من المجرات المعروفة، هي مثل مجرتنا، المكان الذي تدعوه النجوم البيت، أو أنه كان هكذا. دعنا نتذكر أنه كلما كانت المجرة تُرى على مسافة أبعد زادت صورتها في قدمها، ويزيد ما في تضمينات ذلك من تعذيب لعقلنا. عندما نذهب إلى متحف علمي ممتاز أو نموذج لقبة السماء، من المرجح أننا سنجد صورًا لبعض مسوح رائعة «للمجال فائق العمق» التي التقطها «هابل تليسكوب الفضاء»، المئات من المجرات البالغة البعد. فيما عدا استثناءات قليلة، فإن النجوم في هذه المجرات التي صورت قد ماتت من زمن طويل؛ لُفظت وتقلصت إلى أقزام بنية قاتمة، أو نثرت أغلفتها الخارجية فيما يحيط بها لتغدو سوبرنوفا. في بعض الحالات تتخذ نجوم ساخنة جديدة مكان الأضواء القديمة التي التقطت تليسكوباتنا صورتها، وفي حالات أخرى يكون من المرجح أن تصبح المجرات أبرد وأكثر ظلامًا وهدوءًا مما تظهر به لأعيننا مع ما هو ضروري من وجود فارق زمني لرؤيتها. من المعتقد أن بعض المجرات تبتلعها المجرات المحيطة بها، أو ثقب أسود مارد يكمن في القلب منها، حيث من المعتقد أن الثقوب السوداء توجد في المركز من مجرات كثيرة، بما فيها مجرتنا.

من الممكن أن تتفوق مسوح أعماق الفضاء في جوانب كثيرة على مشاهد جلسات تحضير الأرواح. مثال ذلك أن علماء الفلك يتابعون السماء دائمًا بحثًا عن نجوم السوبرنوفا والبيانات الوفيرة التي يمكن أن توفرها لنا هذه العروض بأنوارها الكبيرة. يتفجر في المتوسط في كل قرن نجم واحد في مكان ما من أحد المجرات. حتى يعثر علماء الفلك على هذه الأحداث النادرة يلتقطون أسبوعيًّا صورًا للمجرات نفسها التي يبلغ عددها ثمانية آلاف تقريبًا، ويكررون ذلك مرة بعد مرة بداية من يوم الثلاثاء حتى يوم المريخ. يقول ألكس فيليبنكو: «نبحث هكذا عما يكون مختلفًا، وعادة لا نجد شيئًا، ولكننا من آن إلى آخر نجد نجمًا متفجرًا جديدًا. وجدنا في السنة

الماضية اثنين وثمانين.» في أحد الأسابيع لا يوجد إلا نفس الجرم اللولبي القديم المخطط، وبه كل ما يوجد من زخارف على بطاطس منطقة بواز في إيداهو. وفي الأسبوع التالي يحدث انفجار قنبلة يعمي الأبصار فيبدد السكون، ويغمر سائر الكم الفوتوني للمجرة. هل يمكن أن يبدو ما هو أكثر مفاجأة من أمر يقع في الحال ويحدث ها هنا الآن في وجهك، مثل رؤية شمس ضخمة تنفجر انفجارًا هائلًا؟ لكننا نجد مرة أخرى أن فارق الوقت يواجه توقيت الحدث ويخضع للقيود القانونية الرهيبة للضوء. هذا الحدث الجلل الذي ظهر «فجأة» فوق شاشة مسح عالم الفلك قد وقع منذ نصف بليون سنة، وهذا النجم المتفجر «الجديد» قد تبعثر في الفراغ منذ زمن طويل، ومن يعرف، فلعله أثناء موته قد وضع البذرة لمولد شمس أخرى، لها توابع من كواكب خاصة بها مثل كواكب زحل والمشترى وجايا (الأرض) المحلقة. يوجد دائمًا على المستوى الكوني أمل جديد ينبعث من الموتى.

الكون الذي نعيش فيه وننتمي له بلا خلاص، كون قد ولد منذ ما يقرب من ١٤ بليون سنة — أو منذ ١٣٫٧ بليون سنة إن شئنا أن ندقق نوعًا — ويثق العلماء بأن هذا الرقم يتلاءم جيدًا مع اكتشافات كثيرة. بدأ الكون وكل ما يحتويه — كل ما يُعرف وكل ما يُظن عن المادة والطاقة، كل المكان والزمان، كل الأحلام التي تهدمت، كل الحب الذي ضاع، وكل الخبايا بما في داخلها وخارجها — هذا الكون كله بدأ باللحظة الخطيرة التي نسميها «الانفجار الكبير». إذا كان هذا الاسم يبدو مبتذلًا بعض الشيء وضاجًّا بالعراك بعض الشيء، فإن هذا هو ما ينبغي أن يكونه. عندما سك العالم العظيم سير فريد هويل هذا المصطلح أثناء لقاء معه بالراديو منذ ما يقرب من ستين عامًا، فإنه كان يعنيه كنوع من استهزاء مهين عفوي. كان سير فريد ملحدًا عنيدًا كما كان أيضًا عالم كونيات بارزًا، وعلى هذا الأساس فإنه كان يكره الفكرة التي أخذت تنتشر وقتها عن أن الكون له بدء محدد، لأنه يرى أن هذا يرادف مشهدًا للولادة مفتوحًا لكل عوامل الربط والطي الدينية، وكان هو ونظراؤه المماثلون له في التفكير يفضلون نموذجًا «لحالة

مستقرة» لكون حركي ظل يوجد دائمًا بخطوط محيطه الكنتورية الحالية. لكنه ثبت أن هذا المصطلح المتحدي لهويل مصطلح جذاب للغاية، وسرعان ما أخذ الأنصار والنقاد معًا يشيرون إلى ميلاد الكون حسب هذا الفرض على أنه الانفجار الكبير. ولكن حتى مع ما حدث من إضافة متزايدة للأدلة التي حولت ما كان تخمينًا معقولًا إلى منطق صلب يقوم عليه علم الفضاء المعاصر، حتى مع هذا ظل مصطلح هذه الوصمة الخفيفة الظل باقيًا. في الواقع فإنه لم يكن هناك حقًّا انفجار؛ الانفجار صوت، وموجات الصوت تحتاج لجزيئات هواء لتنتشر، وفي البداية لم يكن هناك أي هواء، بل لم يكن هناك أيضًا جزيئات أو ذرات، وإنما مجرد طاقة خالصة.

ثم «الكبير»؟ لم يكن هناك عند البداية إلا الأصغر من كل ما هو صغير، والكون كله يحتويه ما هو أقل من جزء من بليون من التريليون من حجم نواة الذرة، ولكن دعنا نكُن جادين: إن حدثًا كمولد الكون لا بد أن يكون قضية كبيرة جدًّا، وهو انفجار بمعنى أنه تفجر مفاجئ. حدث أن تحرر من الحبس قدر هائل من الخامة، من الطاقة، بدايات المادة، وبما هو مهم بداية الفضاء نفسه، بداية كيان لما هو شيء، بدلًا مما ربما كان يوجد من اللاشيئية المطلقة المثيرة للأعصاب، أو التي لم تكن موجودة، تحرر هذا كله من حبسه داخل حدود شيء صغير ومحدد بدرجة لا نهائية يسمى المفردة، وبدأ ينتفخ كالبالونة خارجًا في كل الاتجاهات بقوة لا يمكن تصورها وبسرعة نسبية، بمعنى أنها سرعة تقرب من سرعة الضوء. إذن «كان هذا» انفجارًا كبيرًا، ويمكننا أن نسعد بأن هويل اختار أن يثير السخرية بهذا المفهوم لزمن طويل كان كافيًا لأن تصاغ هذه النزعة من الدعابة المضادة في عبارة «الانفجار الكبير».

نحن لا نعرف السبب في الانفجار الكبير: ما الذي كان يسبقه؟ ما الذي قدح زناده؟ أو ماذا كان يجري في تلك اللحظة من الحقيقة، سواء كانت لحظة أو نقطة ... أو وقفة؟ استخدم العلماء النماذج الرياضية لتتبع الكون إلى نقطة قريبة أقصى القرب من الانفجار الكبير، «بما يصل إلى ١٠$^{-٣٥}$ ثانية بعد وقت الصفر» حسبما قال آلان جوث عالم الفيزياء في معهد ممت.

أما ما هو صعب جدًّا الآن فهو أن تملأ فجوة ما حدث في ذلك الوقت الأخير الصغير كل الصغر، تلك الفترة الضئيلة من جزء من المائة بليون من اليوكتو ثانية. وحتى يحل العلماء هذه المشكلة عليهم أن يصلوا إلى قرار بشأن بعض الأسئلة الصعبة، مثل السؤال هل ولدت قوانين الفيزياء مع الانفجار الكبير ومن ثم فإنها تنهار إلى ما لا معنى له عندما نلج، باستعارة مجازية، للداخل من مفردة الانفجار الكبير؟ أم أن هذه القوانين سابقة للانفجار وقد تكون هي التي أدت إلى نشأته؟ أيًّا ما يكون السبب، فإننا نعرف ما ترتب من نتائج. بدأ كوننا بالانفجار الكبير وظل من وقتها وهو يتمدد ويبرد، وهكذا فإن كل شيء يتعلق ببنية الكون وشكله وتركيبه — تجانسه الناعم كالحرير بالمقاييس الكبيرة، تجلطه في كتل النجوم والمجرات إذا ألقينا عليه نظرة عن قرب — كل هذا يرجع إلى تلك اللحظة من التوحد الهائل إلى ما لا نهاية، ذلك التوحد المجيد الذي ينعم ببعض زيف مبارك من اللاتوحد. سيمون سينج فيزيائي وكاتب علمي وهو يصف اكتشاف الانفجار الكبير بأنه «أهم اكتشاف في الزمان كله»، وربما يكون على صواب في ذلك. ولكن بينما نجد أن أوجه تقدمٍ مهمة أخرى مثل الخبز ذي الشرائح والتيفلون[٧] قد أثبتت نفسها بالعيش الفرنسي المحمص، ما الذي يمكن أن نستفيد به من هذا الفرض الفائز بجائزة العِلم النهائية؟ نحن لا نستطيع أن نلمسه، أو أن نتذوقه، أو نراه، أو نضع عليه الزبد. لماذا ينبغي أن نصدق أن الانفجار الكبير حقيقي؟

تعد صياغة نموذج الانفجار الكبير للكون كتمرين في علم نفس عكسي. أولا: أدرك علماء الفلك أن الكون يتمدد إلى الخارج في كل الاتجاهات، مثل بالونة تُنفخ، أو رغيف يخبز من عجين متخمر، أو مثل واحدة من تلك الزهور اليابانية الورقية التي تتمدد منتشرة في الماء، ثم بدأوا يجرون الأبحاث عائدين بالزمن إلى الوراء. إذا أدرنا عكسيًّا أحد الأفلام عن أمثلة الحياة اليومية، ماذا سنرى؟ سنرى أن الكريات التي تتناثر منتشرة بعد

---

[٧] التيفلون: الاسم التجاري لمادة شمعية تستخدم لتغليف أدوات الطهي وفي الصناعة لمنع الالتصاق. (المترجم)

أن كانت متلاصقة مندمجة، سترتد من تناثرها لتتجمع وتندمج ثانيًا معًا، أو نرى شجيرة تنتشر عليها براعم مزهرة يعاد امتصاصها ثانية إلى بذرة أو حبة ضئيلة مشبوهة. هكذا يبدو أيضًا شريط فيلم الكون إذا أدير إلى الوراء فيجعل أجزاء الكون المبعثرة تزداد قربًا دائمًا، حتى يتكثف كل شيء إلى هباءة صغيرة جدًّا من عجينة البداية، إن لم تكن صغيرة تمامًا مثل نقطة واحدة فإنها على الأقل نقطة واحدة في وجهة نظر.

ينسب الفضل عمومًا في اكتشاف تمدد الكون إلى العالم إدوين ب. هابل، وهو عالم فلك أسطوري ولد في ميسوري ويدخن البايب ويعد وسيمًا بقدر ما هو ذكي، وكما صرحت زوجته فقد كان «كاللاعب الأولمبي، فهو طويل، وقوي، وجميل، وله كتفا تمثال هرمس[8] الذي نحته المثال الإغريقي براكستيل». برع هابل أيضًا في أداء حيلة ذكية مثيرة للإعجاب بأن يستمتع وهو في بالغ شهرته بمخالطة نجوم بارزة من غير علماء الفلك مثل دوجلاس فبرياتكس، وكول بورتر، وإيجور استرافنسكي، وهو يحتفظ في الوقت نفسه بشهرته العلمية الرفيعة. بعد وفاة هابل بخمسين سنة لا تزال لاكتشافاته جاذبيتها الحية، ولا يقتصر الأمر على أن علماء الفلك لا يزالون يستخدمون مصطلحات مثل «قانون هابل» و«ثابت هابل» في أبحاثهم اليومية، وإنما قررت «ناسا» أيضًا أن تسمي تليسكوبها الفضائي الذي تكلف بلايين الدولارات باسم هابل، وساعد هذا على الاحتفاظ باسمه حيًّا في أعين الجمهور الواسع الانتشار، على الأقل إلى أن يلوّح هذا التليسكوب بالوداع النهائي، وإن كان تليسكوبًا لا يناله التلف إلا بطيئًا.

نال هابل شهرته أولًا لبرهانه العملي المقنع على أن مجرتنا ليست هي كل الكون لا من قبل ولا من بعد، وأن الكثير من البقع الغامضة التي تظهر على الألواح الفوتوغرافية لعلماء الفلك وسُك لها اسم السدم لمظهرها المشابه للسحاب، هذه البقع ليست أجزاء في تكوين مجرة درب التبانة كما كان يعتبرها التيار الرئيسي للعلم وقتها، وإنما هي أجرام سماوية مستقلة

[8] هرمس: رسول الآلهة في الأساطير الإغريقية. (المترجم)

تقع على مسافات مذهلة من مجرتنا؛ أجرام سرعان ما تقرر أنها مجرات كاملة أخرى. مع التعرف بالتفصيل على خصائص هذه المجموعات المكتملة من النجوم المستقلة ذاتيًّا الدائمة الوميض، وجد هابل الأدلة على أنها حقًّا بعيدة جدًّا، بل إنها أيضًا تزداد تباعدًا طول الوقت. كلما تفحص هابل أي مجرات في أي ركن من المشهد العام للكون، وجد أنها كلها تبدو وكأنها تفر بعيدًا من مجرتنا الصغيرة المسكينة، وكأن درب التبانة تتفجر بأورام دبلية ملتهبة ومعدية، أو تطلب العون في غسل الأطباق. وإضافة لذلك كلما كانت المجرة أبعد بدا أنها تتزايد سرعة في ارتدادها. أمكن رؤية ذلك لأن كل مجرة — وهي تعدو بعيدًا — يتحول وجهها إلى بعض الاحمرار، وكلما زاد كبر المسافة زادت الحمرة غمقًا كالبنجر.

لدينا ها هنا أحد أساسيات علم الفلك، مجموعة تغذية أساسية لهذا المجال وشطر مفعم بالقوة من الأدلة في صف نموذج الانفجار الكبير لمولد الكون وتطوره: أمواج الضوء الآتية من المجرات تخضع لما يسمى «بالإزاحة الحمراء» قبل أن تقدم نفسها على بابنا. عندما نقارن بصمات الأصابع الذرية الواشية، أو أطياف الضوء الآتية من مجرة بعيدة مع الأطياف المرادفة لها لمصادر ضوء معروفة هنا على الأرض، سنرى أن نمط الخطوط القاتمة واللامعة فوق كل من مجموعتي الأطياف يتطابق شريطًا بشريط، الأمر الذي يدل على أن المزيج نفسه من العناصر الذرية لا بد وأنه يولد هذه الأشعة سواء هناك خارجًا في الفضاء أو هنا بأسفل على الأرض. على أن الأطياف المجرّية تظهر كل مصفوفة الخطوط وكأنها قد دفعت تجاه الطرف الأحمر للطيف الكهرومغناطيسي بأطوال موجاته الأطول وتكون هكذا أكثر بعدًا عن طرف الطيف الأزرق بأطوال موجاته الأقصر، وذلك عند المقارنة بأنماط العلامات المميزة للأضواء الأرضية. ما الذي تعنيه هذه الإزاحة الحمراء؟ إنها تعني أن الموجات النابضة لضوء النجم، أثناء عبورها للمسافة التي تفصل مكان تولدها في المجرات عن تليسكوباتنا اليقظة، يحدث لها أن تمتطّ وتُشد وتُزاد طولًا، وتتسع تدريجيًّا المسافة بين الذروة والقاع من كل موجة، وترق الذروات ويهدأ الغضب.

حتى نستوعب السبب في حدوث الإزاحة الحمراء، لعل مما يساعدنا على ذلك أن نمرن الأبصار لزمن وجيز على الاستماع لصوت قطار عابر. وكما أن مجلس كونجرس الولايات المتحدة قد سعى بقوة إلى إزالة جهاز السكة الحديد الأمريكي لنقل الركاب، سنكون ولا شك مستمتعين بالعنف نفسه عندما نستمع إلى العويل الطويل الحاد لصفارة القطار. إذا كان الأمر هكذا فستلاحظ بكل تأكيد أن الصوت يغير من طبقته وهو يندفع تجاهك. مع اقتراب القطار يكون للصفارة طبقة عالية بصرير مثل الفلوت الصغير. في لحظة محاذاة القاطرة الصافرة لك، يهبط الصوت إلى المستوى المتوسط للصفير التقليدي للقطار كنعيب من أعماق أحد الأبواق. وبينما القطار يتركك بكوم غباره المشبع بالصدأ تهبط طبقة الصوت لما هو أعمق ليتخذ في النهاية صوت خوار حزين يقول: إلى اللقاء، انتبه لنفسك، وداعا للأصوات الضاجة ... في كل مكان.

بالنسبة للأذنين عند إحدى المحطات، يتغير صوت الصفارة تغيرًا بالغًا ما بين الاتجاهين الوافد والراحل بحيث يسهل أن تنسى كيف تكون طبقة الصفارة إذا كنت على متن القطار بأولى من أن يفوتك سماعها: ستكون الطبقة متماثلة إلى حد بعيد من البداية إلى النهاية. لا يظهر دور ظاهرة دوبلر المشهورة إلا لهدف في حركة نسبية بالمقارنة إلى مصدر الصوت. سميت هذه الظاهرة على اسم عالم الرياضة والفيزياء النمساوي الذي صاغها في القرن التاسع عشر، وتقول الظاهرة إن الموجات التي يولدها جسم متحرك تتغير في حجمها حسب ما إذا كان الجسم يتحرك مقتربًا أو مبتعدًا عنا. إذا كان الجسم يحدث ضجة، تنضغط موجات الصوت إلى طبقة أعلى وهي تقترب، وترتخي إلى طبقة أكثر انخفاضًا وهي تبتعد. إذا كان الجسم ورقة شجر تطفو، فإن التموجات التي تنتشر على سطح الماء تظهر على مسافات أكثر تقاربًا إذا كانت الورقة تنجرف تجاهنا وليس بعيدًا عنا. الإزاحة الحمراء التي كُشف عنها في دراسات المجرات البعيدة هي إذن مثل آخر لا غير من ظاهرة دوبلر أثناء عملها.

على أن من المهم هنا أن الضوء الآتي من المجرات البعيدة يكون دائمًا مزاحًا في اتجاه واحد. في حالة جيراننا المباشرين من مجرات «المجموعة المحلية» يكون هناك شيء من الأخذ والعطاء. مجرة أندروميدا مثلًا مزاحة للأزرق، وهذه علامة مقنعة على أنها تتجه ناحيتنا وأننا نتجه ناحيتها، وأنه في خلال ما يقرب من ٦ بلايين سنة سوف تندمج المجرتان معًا نتيجة التجاذب المتبادل بينهما. ولكننا عندما نخطو خارج المنطقة المجاورة لنا لن نرى إلا إزاحة حمراء. لا بد وأن المجرات البعيدة كلها تتسابق بعيدًا عنا كما يكشف عن ذلك التزايد الذي لا يتوقف لموجات ضوئها. وبالإضافة إلى ذلك، فكلما زادت مسافة بعد المجرة زادت شدة الإزاحة الحمراء، ويكون ذلك تقريبًا على نحو فيه تناسب. بمعنى أنه إذا كانت مجرة اسمها جانسين تبعد عن الأرض بمسافة تصل إلى ضعف بعد مجرة اسمها «جونسون» فإن الضوء الآتي من المجرة جانسين سيزاح إزاحة حمراء بمقدار الضعف، وتطول موجاته بالضعف بالنسبة للضوء الآتي من المجرة جونسون، وإذا كانت مسافة البعد تبلغ ثلاثة أضعاف، فستكون الإزاحة الحمراء بثلاثة أضعاف. كيف نفسر هذه الصلة بين مسافة بعد المجرة وراديكالية الإزاحة الحمراء؟ حسب معادلات دوبلر، تؤثر سرعة أي جسم يصنع موجات في مدى الاتساع أو الضيق النسبي لموجاته. ستزعق صفارة القطار السريع لمن يسمعها من الخارج وهي تقترب بصوت أعلى من صوت صفارة القطار البطيء ثم تئن بصوت أكثر انخفاضًا منه وهي تبتعد. الحقيقة أن علاقة الارتباط بين السرعة ودرجة إزاحة دوبلر هي بالضبط ما يتيح لضابط الشرطة أن يقيس سرعة تحرك إحدى السيارات عن طريق إشارات الرادار المرتدة من السيارة حيث يرى منها مدى شدة تأثير سرعة السيارة في تشويه أطوال موجات الإشعاع الساقط عليها؛ كلما زاد ما يلاحظه الضابط من إزاحة دوبلر زادت الغرامة التي يدفعها السائق. وبكلمات أخرى فإن هذه المجرات البعيدة لا بد وأنها ترتد بعيدًا عنا بسرعة أكبر من المجرات الأقرب.

أو لعلنا لا غير مصابون بأوهام جنونية. وكما ثبت فإن الإحساس بأن المرء فريد في تنافره مع كل شيء تقريبًا في الكون، هو مجرد وهم. لو كان

مقرُّنا في أندروميدا أو سومبريرو أو مجرة إم ٦٣، فسيبدو شكل الإزاحة الحمراء للكون مماثلًا تمامًا لما نراه هنا في درب التبانة: كأن المجرات الأخرى تتحرك كلها مبتعدة عنا، وبسرعة تكون تقريبًا في تناسب مع مسافة بعدها. كيف يمكن لهذا أن يكون، كيف يمكن أن يحدث أن كل فرد منا قد خصص له أن يقوم بدور الحانوتي في حفل عرس؟ حتى نفهم هذه الظاهرة، هيا نحاول أداء تجربة بسيطة لا تتطلب أكثر من بالونة، وقلم له سن مصنوع من مادة اللباد، ووجود شفتين أخريين. أول شيء سنزين البالونات قبل نفخها بنقط بألوان حيوية، ونباعد بين النقط بمسافات متساوية ما أمكن. هيا اطلب من شفاه مساعدك أن تأخذ البالونة التي برقشت حديثًا بالنقاط لنفخها ببط. ضع إصبعًا على أي واحدة من هذه النقاط، وتأمل النقط الأخرى التي تحيط بها. أثناء تمدد البالونة لاحظ أن النقاط المجاورة تتحرك كلها متباعدة عن أصبعك. لاحظ أيضًا أن النقط الأقرب من أصبعك تتباعد عنك بسرعة أبطأ من تلك الأكثر بعدًا. سبب ذلك أن المطاط المتمدد يكون المقدار الموجود منه بينك وبين إحدى النقط المجاورة أقل مما بينك وبين أي نقطة بعيدة، أي أن مساحة السطح التي تشد النقط القريبة بعيدًا عن جيرتك هي مساحة أقل نسبيًّا. والآن ضع أصبعك فوق نقطة من تلك النقاط البعيدة وانظر مرة أخرى إلى النقاط من حولها: ستجد الشيء نفسه. انتفاخ المشهد العام يدفع كل النقط لتتباعد وتتباعد إلى الخارج، وتتباعد النقط البعيدة عن أصبعك بسرعة أكبر من تلك الأقرب ليدك. حسن كفانا الآن نفخًا. هل آتيك يا جدتي بقدح شاي، أو فوار، أو خيمة أوكسجين؟

الكون المتمدد لا يختلف كثيرًا عن البالونة المتمددة، فيما عدا أن الكون أكبر وأبرد وأكثر إظلامًا ولن يفرقع، حتى لو وضعناه في قفص مع فأرين في حالة جماع. ولا يزال التشبيه بالبالونة يبين لنا كيف أن أي نقطة مواتية فوق أرضية البالونة المتمددة تظهر وكأنها مركز الكون بدون أن تكون في الواقع مركزه، كما يبين كيف أن الأجسام البعيدة سوف تتراجع عن النقطة التي يختارها المرء بسرعة أكبر من النقط القريبة، وليس ذلك لأنها تتحرك بأسرع بأي معنى «حقيقي» أو مطلق ولكنها تتحرك فحسب بأسرع

نسبيًّا من معدل سرعة التراجع في الأماكن القريبة. هكذا فإن المجرات التي تقع على أبعد مسافة من الأرض ليست من أبطال العدو الأولمبيين، ولا هي «هرمس» رسول الآلهة الإغريقية إلى السلاحف المحلية في جزيرة سالاماسوند الأسطورية. سرعة هذه المجرات المذهلة، هي مذهلة لنا نحن فقط، في حين أنها بالنسبة لما بين إحداها والأخرى تتحرك بسرعات غير ملحوظة. وكما أثبت عمليًّا ألبرت أينشتين في نظريته عن النسبية الخاصة، فإنه لا معنى للحديث عن السرعة أو الحركة المطلقة لأحد الأجسام في الفضاء، ما لم يكن هناك مرجع نهائي، لا يتغير أبدًا، حد ضابط ممكن أن تقارن به هذه السرعة. كل ما يمكننا أن نسأل عنه هو «سريع عند المقارنة بماذا؟» نجد من منظورنا أننا نحن والمجرات المجاورة نتحرك خلال الفضاء بما يقرب من ٣٧٠ ميلًا في الثانية، أو ٩٥٠ كيلومترًا، وهي سرعة تزيد قليلًا عن سرعة شاحنة بجرار تسير في طريق مونتانا الحر[٩] في الساعة الثانية صباحًا. وعلى عكس ذلك نجد أن المجرات الأقصى بعدًا يبدو أنها تتراجع عنا بسرعات من آلاف أو عشرات الآلاف من الأميال في الثانية، وهو ما يقترب اقترابًا مزعجًا من سرعة الضوء ويعد غير مشروع حتى في طريق «الأوتوبان».[١٠] على أنه بالنسبة لرجال دورية المرور في الطرق الرئيسية المحلية، فإن هذه المجرات القصية البعد تتحرك بسرعات تثير الإحباط لأنها في نطاق السرعة المشروعة وتقرب من ٥٩٠ كيلومترًا في الثانية.

هناك طريقة أخرى يمكن بها لتدريب البالونة أن يُلقي الضوء على طبيعة كوننا المتمدد: هذه الطريقة هي أننا نجد أن النقط في الواقع ليست هي التي تأخذ زمام المبادرة لتتحرك متباعدة إحداها عن الأخرى كما كان سيحدث لو أنها كانت حشرات نمل على السطح بدلًا من أن تكون علامات قلم رسمت على السطح. الأَولى هو أن يقال إن الجلد ما بين النقط يتمدد متسعًا، وبالمثل فإن المجرات في كوننا لا يحدث لها واقعيًّا أنها تندفع متباعدة إحداها عن الأخرى. فهي لا تتحرك خلال الفضاء، وإنما هي تتحرك مع

---

[٩] الطريق الحر: طريق سريع بأقل ما يمكن من المنحنيات والتقاطعات. (المترجم)
[١٠] الأوتوبان: نوع من الطرق الرئيسية الكبرى في ألمانيا للسيارات فقط. (المترجم)

الفضاء. وهي تظل تقريبًا باقية كما هي، والفضاء فيما بينها يواصل التمدد لا غير. يميز ذلك بين حركات تلك المجرات بالمقياس الكبير وبين التحركات الأخرى للحج في السماء. الأرض وأشقاؤها من الكواكب تدور حول الشمس بتأثير الجاذبية. منظومتنا الشمسية بدورها تشق طريقها تدريجيًّا لتدور حول قلب أو محور درب التبانة بما له من كثافة وجاذبية مقنعة، وتكمل المنظومة دورة لفها حول المجرة مرة كل ٢٣٠ مليون سنة. على أنه في حين توجد بعض استثناءات على نطاق بعض المناطق (مثل قوى الجذب التي تشدنا ببطء نحن وأندروميدا لنزداد قربًا معًا)، فإن المجرات موزعة خلال الكون على نحو متجانس بما يكفي لأن ينتهي بها الأمر وهي في حالة تعادل جذبي إحداها مع الأخرى. المجرات نفسها لا تتجول ولا توسع المسافات، وإنما الأمر أن الفضاء نفسه فيما بينها هو الذي لا يستطيع أن يكف عن توسيع حزامه.

أخشى أنه على مستوى أعماق داخلنا، يكاد يستحيل قبول هذه الفكرة — مهما كان عدد حزم البالونات التي تنفخها لك مربيتك المخلصة التي يحدث لها سريعًا إزاحة زرقاء — فكرة أن تمدد الكون ليس أمرًا ماديًّا ملموسًا لمجرات تتفجر إلى الخارج في الفضاء كما تتفجر الشظايا من إحدى القنابل، وإنما ما يحدث هو أن الفضاء نفسه يتفجر إلى الخارج ولكن الشظايا محتبسة في مخبئها. من أحد الجوانب، فإن من غير المفترض أن يفعل الفضاء أي شيء سوى أن يجلس هناك وهو ينتظر ما يعبره أو يملؤه. ومن جانب آخر، إلى «أي شيء» يتمدد الفضاء؟ مزيد من الفضاء؟ إذا كان الأمر هكذا، لماذا لا ينبسط الفضاء كله معًا من بادئ الأمر؟ كيف يمكن أن يكون هناك كون يتمدد إذا كان الفضاء يتمدد في فضاء؟ ألا يشبه ذلك أن نحاول نفخ بالونة مليئة بالثقوب؟ حسن، لعلك تنال بعض راحة عندما تعرف أن علماء الفلك ليس لديهم هم أيضًا أي استيعاب حدسي لهذا الموضوع. يقول ماريو ماتيو أستاذ الفلك في جامعة ميتشيجان: «تمدد الكون مفهوم أفهمه رياضيًّا، أما على المستوى الشخصي فلا، لست أستطيع فهمه.»

وثيرة ومنضدة شراب خاصة، وتنطلق في طريقها وسط عاصفة صحراوية مجنونة.

الخلية وحدة الحياة الأساسية، وهي أصغر وحدة من المادة يمكن أن تعتبر حية حسب ما يكتب كل العارفين. الفيروس أيضًا وحدة من المادة تظهر قلة من خصائص ما يشبه الحياة، أهم ما يلحظ منه هو وجود دافع حماسي لنسخ الذات والقدرة على الطفر والتطور، الفيروس كيان لا يزيد عن حزمة من جينات ملفوفة بسترة من جزيئات البروتين والسكر، وهو أصغر حتى كثيرًا من أصغر الخلايا، خلايا البكتريا. ومع ذلك فإن معظم العلماء يجادلون بأن الفيروس ليس حياة حقيقية وإنما هو نمط من حياة أولية، شيء يود لو يكون، نمط من شبه حياة طفيلية تشبه ما يكتب على البطاقات المصمغة من ملاحظات للتذكرة لتلصق على المكتب أو الكمبيوتر، والسبب في نظرة العلماء هكذا إلى الفيروس هو أنه لا يشارك في طقوس جوهرية للحياة مثل الأكل والإخراج، ويعتمد اعتمادًا كليًّا على أجهزة الخلية المضيفة، التي يعديها ويتطفل عليها، من أجل أن تخلق له جسيمات فيروسية جديدة. يحتفظ العلماء بشهادتهم للحياة الأصيلة الحقيقية ليخصوا بها الخلايا، باعتبارها أصغر حزمة للحياة فوق الأرض، وحاملة لأفضل ما يوهب من قدرات.

الخلية تعيش وتتنفس وتتذوق وتصنع نفايات، وعندما يستدعي الأمر فإنها تتناسخ. الخلية مكتفية ذاتيًّا، هذا هو التصور الفكري لجمالها وقدرتها. ولكن ما الذي تكونه الخلية من الوجهة الأكثر عملية، ومن حيث ما يكون فيها من الميكانيكا الحيوية، والحس المتنبئ؟ كيف تعمل الخلية، ما هي أجزاؤها الأساسية، ولماذا تنبني الحياة كلها وهي تعتمد عليها؟ ما الذي تبدو عليه الخلية، ولماذا تصر على أن تكون بالغة الصغر بحيث لا تراها العين المجردة؟ يجب أن أوضح أولًا أن الخلايا ليست كلها ميكروسكوبية. الخلية لها ثلاثة أجزاء أساسية: غشاء خارجي شحمي، مانع محكم للماء، اسمه غشاء البلازما، وهو يعمل كخط الحدود بين الخلية وسائر المجموعة التي تنتظم فيها، الحد بين الذات وغير الذات، وهناك جزء داخلي لزج وهو

مئات البلايين من النجوم، وكلها تتشارك في نفس الوضع لما قبل المكان، في رقعة ما قبل الفضاء التي شكلت الوضع الواقعي الأولي، الأضواء، والبلازما، ومعها يأتي الجحيم مجانًا.

هكذا بعد أن اكتشف العلماء الإزاحات الحمراء للمجرات ربطوا النقاط وأعادوا للوراء تجميعها معًا تجاه حدث، هو مع كل ما يبدو عليه من عجرفة لا يمكن التفكير فيه إلا على أنه تاريخ ميلاد الكون، ثم أخذ العلماء بعدها يرسمون الخطوط الخارجية لما لا بد وأنه كانت عليه الظروف عندما كان الكون جديدًا. ثبت أن تخمينات العلماء الحاسوبية مثمرة ماديًّا وكذلك أيضًا جماليًّا، لأنها في النهاية نتج عنها الجزء الرئيسي الثاني من الأدلة التي تدعم الانفجار الكبير، كما سنناقش الأمر بعد قليل. إذن ما الذي كان يبدو عليه ذلك الوليد الجديد السمين والتفجر الكبير المتواثب؟ في البداية يلتمس علماء الكونيات منا أن نُبقي في أذهاننا أن ميلاد الكون لم يقع في موضع محدد من الفضاء لأن الفضاء والمادة وفدا إلى الوجود متزامنين، وهما أساسًا قد برزا كالفقاعات عندما تنبثق من ماذا ... حسن، لا نعرف مما انبثقت. هل من الفراغ؟ أو من فقاعة أخرى من قِدر أكبر يبقبق بالحساء الكوني، أكوان من داخل أكوان؟ لا نزال لا نعرف، وربما لن نعرف أبدًا، وذلك لأن كل ما يتجاوز كَوننا ربما سيبقى إلى الأبد مما لا يمكن أن تتوصل إليه أي أجهزة استشعار أو آلات داخل نطاق كوننا، وبدون أدلة لن يكون ما نتعامل به هو علم الفيزياء الفلكية وإنما سيكون ميتافيزيقا عديمة الجدوى، نوع من تفلسف ضحل مغرور، فيه ما هو أكثر من اللازم من صناديق حلوى «ميلك دادز» للكراملة بشكولاتة اللبن.

أيًّا كان الحال، فإن ما لدينا أدلة عليه بالفعل هو الآتي: عند البداية كان هناك ضوء على ما يرام، ضوء غامض لامع ساخن لا يماثل أي شيء رأيناه أو شعرنا به، أو يمكننا رؤيته أو الشعور به، لأنه كما يوضح آلان جوث بطريقة مرحة، ضوء «يؤدي إلى أن تتبخر في الحال خلايا الإحساس بالضوء في أعيننا». ثم ها هو الضوء! لقد تفجر الضوء إلى الوجود، بذرة إشعاع من طاقة خالصة، أضأل من بروتون في ذرة لكنها كثيفة كثافة

تكاد تكون لانهائية، بحرارة من تريليون الدرجات، ثم تأخذ في الحال في التضخم خارجًا. حدث في الحال تقريبًا بعد بدء التمدد، أن تمكن بعض من الطاقة من التكثف إلى مادة، إلى جسيمات أولية مثل الإلكترونات وأجزاء من مكونات البروتونات والنيوترونات، هي الكواركات، وكذلك مادة مضادة من جسيمات مناظرة ولكن لها شحنة مضادة ولها لف مضاد، البوزيترونات ومضادات الكواركات.

ظلت حصيرة المادة والطاقة تتمدد بقوة جبارة. هكذا حدث في كسر من جزء واحد من التريليون من الثانية أن تضخم الكون من حجمه الأصغر من الذرة عند ميلاده إلى حجم يساوي حجم ثمرة كانتالوب، ثم قبل أن يمر جزء من الألف من الثانية كان الكون قد اتسع بحجمه إلى ثلثي الميل. أخذ الكون ينمو ويتوهج بضوء لا يوصف فحسب بأنه ضوء له لمعان يعمي ويبيد شبكية العين، بل له أيضًا نقاء وتجانس لا يُرى في أضوائنا العادية، سواء مصابيحنا، أو شمسنا، أو قنابلنا. كان هناك في الحقيقة تموجات بالغة الصغر في هذا الضوء المبكر من الفجر، أوجه عدم انتظام دقيقة في هذه العجينة الكونية المشعة ثبت في النهاية أن فيها خلاصنا، لكن هذه البقع الدقيقة من التموجات المضطربة، تقاس سعتها بمقاييس كمي، وهكذا بدا الضوء في أول الأمر نقيًا نقاءً خالصًا ورقيقًا بالوجه الملائم.

أول جسيمات وليدة كان لها سلوك طفل مزعج، وهي تندفع بعنف محدثة أصوات مزعجة وتحترق إلى إشعاع ثم تعاود أن تتشكل لجسيمات مرة ثانية الكرّة بعد الأخرى. على أي حال فقد صحب التمدد تغيير في الأمزجة، برودة كافية لأن يستمر تكثف المادة بما يتجاوز هذا الطور الأكثر بدائية. تجمعت الكواركات في ثلاثيات لتشكل بروتونات ونيوترونات قوية ثابتة إلى حد معقول، في حين تكون عدد مساوٍ تقريبًا من ثلاثيات من مضادات الكواركات لتشكل مضادات بروتونات، وتندفع أيضًا خلال العصيدة الأثرية الإلكترونات والبروتونات. لا تزال أوضاع المادة غير مستقرة بعد، وذلك لأن المادة ومضادات المادة لا يمكن أن تتشارك في المنطقة نفسها وتبقى موجودة. تقفز البروتونات ومضادات البروتونات في الوجود لا لشيء إلا لتتصادم وتبيد

كل منها الآخر؛ تُقذف الإلكترونات والبوزيترونات لتصطدم معًا وتضيع معًا. لحسن الحظ، ولأسباب لا تزال غامضة، فإن الكون المبكر يُنثر فيه كالملح فائض ضئيل من المادة يزيد عن مضادات المادة: في مقابل كل بليون أو ما يقرب من مضادات البروتون والبوزيترونات التي تدور في عصيدة البداية، يوجد بليون وواحد من البروتونات والإلكترونات. فما هي النتيجة إذن؟ عندما ينتهي هسيس المباراة الكبرى بين المادة ومضاداتها يتبقى عدد من البروتونات والإلكترونات يكفي بالضبط لبدء بناء الذرات، والنجوم، والمجرات، والقطط، والقبعات، وآلات البيانو، وضابطي أوتار البيانو، وعلماء الفيزياء، ومن يسحقون الذرة، ليعيدوا تكوين ظروف الكون المبكر.

على أنه حتى بعد تحييد المادة المضادة على نحو فعال، سيحتاج الكون لمرور ما يقرب من نصف مليون سنة أخرى حتى يكون صالحًا للرؤية، أما قبل ذلك فيكون كل شيء في ضباب؛ فالكون لا يزال إلى حد بعيد ساخنًا وكثيفًا بحيث لا يمكن للمادة أن تكون موجودة إلا في حالة بلازما، أي كبحر من الجسيمات النووية والإلكترونات كلها لم ترسخ أقدامها وتجعل الضوء يستطير مشتتًا في كل وأي اتجاه، كما تفعل جزيئات ماء الضباب أو السحاب. يقول آلان جوث مفسرًا: «البلازما غير شفافة بالمرة بالنسبة للإشعاع الكهرومغناطيسي. في كوننا المبكر، تتصادم باستمرار فوتونات الضوء مع الإلكترونات الحرة وترتد متواثبة في اتجاهات مختلفة، ومن ثم فإن الإشعاع في هذه الفترة لا يصل إلى أي وجهة.» وكما أنه يستحيل عمليًّا أن تحدق داخل قلب سحابة كثيفة، فإنه بمثل ذلك تمامًا يعتقد علماء الفلك أن ظروف البلازما في الكون المبكر تلغي أي أمل في كشف الإشارات الكهرومغناطيسية للانفجار الكبير الأصلي.

على أنه بعد مرور ٣٠٠٠٠٠ سنة أخذ الضباب يزول. يكون الكون عندها قد تمدد إلى قطر يقرب من ١/١٥٠٠ من حجمه الحالي، وانخفضت حرارته إلى ٣٠٠٠ درجة، ويكون هذا باردًا بما يكفي لأن تبدأ الإلكترونات والبروتونات في التعبير عن توافقها المتأصل فيها، وتكاملها الكهرومغناطيسي، وبما يكفي لأن تشكل معًا ذرات متعادلة كهربائيًّا: ذرات بسيطة مثل

الهيدروجين والهليوم، ولكنها ذرات كاملة النمو، ذرات، هي على كلٍّ حديثة تمامًا. في النهاية تفسح عتامة البلازما الطريق لشفافية الغاز. أخيرًا تستطيع طاقة الكون الإشعاعية أن تنتقل منطلقة في خط مستقيم، بدلًا من أن يعاد تقليبها لتعود إلى معجون البلازما الذي لا يرحم، وهكذا ظلت هذه الطاقة تنطلق حرة من وقتها.

طرح أنصار نموذج الانفجار الكبير الكوني في أربعينيات القرن العشرين أننا ينبغي أن يكون في إمكاننا الكشف عن الحد الموجود بين الكون المبكر المعتم والكون الشفاف الذي ظل يتولى السلطة من وقتها، ويماثل ذلك تمامًا أننا نتمكن من النظر خلال السماء الصافية إلى حافة تشكيل ضخم من السحب. هذا الحد هو ما يسمونه «سطح الاستطارة الأخيرة» أو «حائط الضوء» — آخر مرة في تاريخ الكون تمكنت فيها المادة من أن تلطخ الإشعاع النجمي في إعتام كاللبن. يقولون إن حائط الضوء ينبغي أن يكون من حولنا في كل مكان، لأنه بقايا توهج الكون كله كما وقع عندما كان الكون أصغر جدًّا في حجمه، ولكن الكون بعدها انتفخ خارجًا من حولنا، كما انتفخت البالونة من حول النقاط الأخرى عليها، مثلما يحدث للزبيب في الكعكة عند خبزها، أو ما هو أشبه بذلك، أو هيا نتصور أن الواحد منا فوق زبيبة وسط نفثة كثيفة من الدخان لا تلبث أن تتمدد خارجنا مثل حلقة دخان كروية وامضة. وتظل الحلقة تنتفخ لأوسع وأوسع. ويمر الوقت، وها نحن الآن نقف هنا بأسفل في عالم صاف، قانعين بالارتباط بجمع الثمار، ونحن نمعن النظر خلال حيز كبير من فضاء شفاف، باحثين عن هالة الضباب التي كانت في يوم من الأيام هي كل ما هو موجود.

نعم، لا بد أن هذا الضباب له وجود هناك في الخارج، كما يطرح منظرو الانفجار الكبير. إنه جزء من الكون؛ هل هناك أي مكان آخر يمكن أن يذهب إليه؟ وهم قد أجروا عمليات حسابية أيضًا عن أن الإشعاع الذي نفثه سطح الاستطارة الأخيرة بحرارته التي بلغت ٣٠٠٠ درجة، هو إشعاع قد بدأ كطاقة عالية إلى حد متطرف، وهذا يعني أنها نوع من إشعاع طول موجته قصير إلى حد متطرف. على أنه بعد مرور فترة بلايين السنين،

فإن الضوء وهو ينتقل إلينا هكذا عبر مسافات طويلة سيكون قد أزيح إزاحة حمراء لينزل وينزل وينزل إلى الموجات الباردة الطويلة عند الطرف الطويل المتورد للجزء الميكروويفي من الطيف الكهرومغناطيسي — وهكذا ينزل إلى أطوال موجات نتوقع أن يبعثها جرم مشع حرارته ليست ٣٠٠٠ درجة وإنما هي ٣ درجات. في منتصف ستينيات القرن العشرين اكتشف عالمان للفلك في معامل بل في نيوجيرسي هذه الحمرة المتضرجة الموجودة فيما حولنا، بقايا كون البلازما المبكر، عند طول الموجة التي جرى التنبؤ بها في درجة ٣، وقد نالا جائزة نوبل عن إنجازهما هذا. هذا الإشعاع الذي ندركه من حولنا يعرف رسميًّا باسم خلفية الكون الميكروويفية، ويمكن للواحد منا أن يكتشفها بنفسه، وهو يجلس مرتاحًا في بيته، خاصة إن لم يكن لديه توصيلة كابل محترمة: فيرى هذه الخلفية عندما يظهر تشوش كغشاء من ثلج على شاشة التليفزيون عندما لا يكون مضبوطًا بدقة، ويكون هذا التشوش في جزء منه نتيجة خلفية الكون الميكروويفية، الضوء البارد المتصدع المتبقي من الكون عند زمن يقرب من ٣٠٠٠٠٠ سنة بعد الانفجار الكبير، إنه أول حفرية متحجرة، أقدم لقطة مصورة، وهو إن لم يكن تمامًا كالموسيقى في أذن المرء، فإنه أقرب إلى المفهوم الفلسفي القديم لموسيقى الأجسام الكروية، (تناسب وتناغم بين أجرام السماء الكروية في نوع من موسيقى لا تسمع). إشعاع خلفية الكون هو والإزاحة الحمراء للمجرات البعيدة يغنيان معًا أغنية هامسة ولكنها أكيدة تدور حول «البيج بانج» أو الانفجار الكبير وحول تمدد يعود إلى ١٤ بليون سنة ولا يزال مستمرًّا و: إنه رقصة «البيجويننج».[11]

خلفية الكون الميكروويفية موجودة في كل مكان وزمان، وهي تتجانس بما يثير الإعجاب. قد تبدو سماء الليل عندما نكون في منطقة ريفية نائية في أستراليا على نحو يختلف عما تبدو عليه ونحن في هاليفاكس بنوفاسكوتيا مع اختلاف في ترتيب الكواكب والأبراج، أما إشارة الميكروويف الكونية

[11] رقصة البيجويننج: رقصة شعبية بأمريكا الجنوبية، وهناك جناس ناقص بين بيج بانج وبيجويننج، والمؤلفة كما هو واضح مغرمة بالمحسنات البديعية شبه المنقرضة. (المترجم)

فستكون تقريبًا متطابقة في القوة وطول الموجة أينما كان موضع التقاطها. هذا التماثل فيه الشهادة على مدى تجانس الكون تجانسًا أكبر في درجة الحرارة عندما كان حجمه في الماضي أصغر كثيرًا وأكثر انضغاطًا مما هو عليه حاليًّا من التمدد والانتشار في منتصف عمره، وهذا أمر منطقي: ولنتذكر هنا كيف أن تدفئة غرفة صغيرة تدفئة متساوية أسهل كثيرًا مما لو كانت غرفة كبيرة في بيت فيكتوري الطراز مليء بالتيارات. تجانس إشارة الميكروويف هو في الأساس أيضًا من التجانس الذي يتمدد به الكون منذ الانفجار، أو على الأقل أثناء الدهور الطويلة منذ انتهاء عصر البلازما. دُفعت دائرة الدخان خارجًا بالمقدار نفسه في كل الاتجاهات، وهكذا فإننا ندرك النوع نفسه من الإشارة الباردة المشعة في كل الاتجاهات.

على أنه يثبت في النهاية أن الإشعاع الميكروويفي ليس متجانسًا بالكامل. عندما سُبر المشهد الضوئي العام للسماء بأجهزة حساسة تحملها عاليًا الأقمار الصناعية وكذلك البالونات — فيما هو مناسب تمامًا — وجد علماء الفلك تذبذبات دقيقة في إشعاع الخلفية الميكروويفي، نقاط تكون فيها الإشارة أقوى نسبيًّا أو تكون فيها الموجَات أطول. ترشد هذه الخفقات المضطربة في حائط الضوء علماء الكونيات إلى أن كتلة الكون المبكر — الخامة التي كانت تجعل إشعاع الكون يرتد متواثبًا في ضباب البلازما — لم تكن موزعة بسلاسة على النحو الأمثل. وهم يقولون إنه منذ لحظة أن تجسدت المادة أصبح للكون نزعة لتكتلات صغيرة، نتيجة ما يسمى بالتذبذبات الكمية، وهي تذبذبات تنشأ عن النزعة العصبية الطبيعية للجسيمات تحت الذرية. وبكلمات أخرى، فإن علماء الكونيات يحاجون بأن القماشة الأساسية للوحة الكون لا خيار لها إلا أن تتموج، فهذا ما تتطلبه قوانين الفيزياء والطبيعة الاحتمالية لميكانيكا الكم. وهذه التموجات الدقيقة التي نراها الآن كارتجافات ضئيلة، في خلفية كونية هي فيما عدا ذلك خلفية ذات وهج موحد القياس، هذه الارتجافات يرجَّح أنها مصدر كل التنوع والفرص المتاحة في الكون. يقول جوث: «هذه الموجات هي المسئولة عن تكوين المجرات، والنجوم، وبنية الكون عمومًا، ولولاها لكان

الكون مجرد سحابة ضَخمة من غاز الهيدروجين، ومكان ممل جدًّا في الحقيقة.»

ولا ريب في أن كوننا لم يكن مجرد كيس خامل للغاز؛ فهو منذ البداية عنده نوع من هيكل خلوي متكامل، خيوط من كثافة نسبية تتزايد دائمًا في القوة والكثافة مع نمو الكون. حدث عبر المئات القليلة التالية من ملايين السنوات أن أخذت أول النجوم والمجرات تتكثف من هذه الجيوب ذات الكثافة النسبية في الريش المتمدد من الذرات والطاقة. ومع أن المجرات الآن هي البيوت الوحيدة المعروفة للنجوم — المكان الوحيد الذي تولد فيه النجوم وتموت، ولن نجد أي نجوم ناسكة تتجول خلال برية ما بين المجرات التي جعلتها الجاذبية برية قاحلة — فإن هذا لا يعني أن المجرات هي أول ما يظهر هنالك. على كل حال، فمَن ذلك الذي سيعرف طريقة بناء البيوت الدافئة، والتجمع المزدهر، والمجتمع النجمي، أفضل من السكان أنفسهم؟ لا يزال على علماء الفلك أن يتعلموا الكثير حول تطور بنية الكون ولكنهم يظنون الآن أن النجوم ربما تكون قد سبقت المجرات فعلًا كأول أجرام سماوية تشكلت من الشبكة العنكبوتية لكتلة الغاز في الكون الصغير السن. على أن هذه ليست نجومًا من أي نوع؛ فهي ليست نجومًا كشمسنا، مع كل حبنا الشديد لها وحسن حظنا بوجودها لدينا كما هي بالضبط. من المرجح أن النجوم الأولى كانت بدلًا من ذلك لها كتلة ضخمة، أكبر آلاف المرات من نجومنا. النجوم المارِدة هي وحدها التي لديها قدرات الخيمياء الأسطورية التي كان إسحاق نيوتن يحلم بها قبل أن تتجاسر بوقاحة بالغة تفاحة هاوية على أن توقظه حسب القصة التقليدية المشكوك فيها. النجوم الضخمة وحدها هي التي يمكن لها أن تبدأ من أبسط وأخف الذرات، مثل ذرات الهيدروجين والهليوم، وتشكلها في لوحة ألوان الجدول الدوري للعناصر كلها، بمثل أوجه الجمال عند الرسام روبنز حيث هناك نوى العناصر الأكثر كثافة: عناصر النيكل، والنحاس، والزنك، والكريبتون، والفضة، والبلاتين، والذهب، والتنجستين، والتانتالوم، وحيث هناك الزئبق والرصاص. نحن البشر لا ننفرد وحدنا في نهمنا لكل ما يلمع ببريق. ما

إن بُذر الكون بآثار ضئيلة من المعادن الثقيلة، هدية تلك النجوم المؤسسة؛ حتى أخذت المناطق الغازية الأوسع للكون المبكر تتخذ شكلها، وتم في زمن قصير جدًّا أن اشتعلت السماء بملايين من النجوم تعيش في «دروب لبنية» متميزة.

يأتي هذا بنا إلى اكتشاف آخر من الاكتشافات العظمية لعلم الفلك الحديث: أصاب جون ميتشيل فيما قاله من أننا كلنا من غبار النجوم. تعتمد حياتنا الآن على شمس واحدة حية، لكن هناك شموسًا أو نجومًا أخرى قبل شمسنا هذه قد ماتت لتعطينا الحياة.

قد يكون الكون القابل للرصد أكثر من مجرد سحابة لا شكل لها من غاز الهيدروجين، ومع ذلك فإن هذا العنصر الأقل بهرجة من كل العناصر هو إلى حد بعيد أكثر العناصر شيوعًا. تتكون كل ثلاثة أرباع المادة العادية تقريبًا من الهيدروجين، ذرة فيها فقط بروتون واحد وإلكترون واحد تمتلكهما. الهليوم هو الشخصية التالية في جدول مندليف ويمتلك في قلبه بروتونين ونيوترونين، وهو يكوّن ما يقرب من ٢٤ في المائة من المادة المعروفة. كل ما يوجد الآن من الهيدروجين هو والكثير من الهليوم مع نثار من المخزون الكوني لذرات الليثيوم والبورون والبريلليوم، كلها نتاج مباشر للانفجار الكبير، ولدت عندما كان الكون جديدًا. في المرة القادمة عندما يجلب أحد أعضاء الأسرة إلى البيت إحدى تلك البالونات البشعة من «بوليستر مايل»، بالونات تبقى بعناد سابحة باطراد لزمن بالغ الطول، حتى يقرر الواحد منا أن يشقها لتتمزق عندما لا يكون صاحبها ناظرًا إليها، دعنا نتذكر عندها أن هناك على الأقل مقدارًا صغيرًا من ذرات الهليوم التي نوشك هكذا على أن ننثرها في الجو في مرح، هي ذرات ربما ظلت مستمرة في شكلها الحالي لمدة ١٣,٧ بليون سنة. والآن هيا أسرع وتخلص من هذا الشيء قبل أن يعود لنا ثانية الصبي الذي يمتلكه.

ومع ما للانفجار الكبير من طموحات، فإن قدرته الابتكارية محدودة وقصيرة العمر. تفرض قوانين الفيزياء، وهي قوانين إما أن تكون سابقة للانفجار العظيم أو أنها ولدت معه، تفرض أن تُبقي القوة الكهرومغناطيسية

البروتونات المشحونة إيجابيًّا في نوى الهيدروجين وهي منفصلة متباعدة بقدر الإمكان أحدها عن الآخر، إلا إذا حدث أن شيئًا ما دفعها لتتقارب معًا تقاربًا وثيقًا بحيث تتمكن القوى النووية القوية من أن تتولى زمام الأمور. تستطيع هذه القوة القوية — باعتبارها أكثر قوى الكون جبروتًا — أن تضم معًا بقبضة قوية نوى الهيدروجين ذات الكراهية المتأصلة المتبادلة حتى توافق هذه النوى على أن تتحد إلى شيء جديد، أي إلى ذرات من الهليوم. أو أنها تستطيع أن تدمج معًا ذرات الهليوم والهيدروجين إلى ما هو حتى رابطة لدولة نووية أكبر، حالة تسمى «كيان الليثيوم». لكن كل زيادة تدريجية في حجم الدولة النووية تتطلب تعاملًا فيه قدر أكبر كثيرًا من الحرارة والكثافة، وقدر أكبر كثيرًا من ظروف محيطة حالتها متطرفة للتغلب على التنافر الكهرومغناطيسي ولإتاحة الفرصة للقوة القوية لتمارس دبلوماسيتها. يصل الانفجار الكبير عند أقصى قدرة له إلى أن يجبر حزمًا من خمسة بروتونات لتكون في حالة من تقارب له معنى — في حالة تناثر من ذرات البورون — وذلك قبل أن يتشتت حجم الانفجار وتضعف ظروفه الأصلية كإناء طهي بالضغط وتصبح ظروفًا أضعف مما تتطلبه أهواء الاندماج. في أعقاب آلام الولادة عند ميلاد دولة، تبقى معظم ذرات الكون في الشكل نفسه من الهيدروجين الأصلي الذي بدأت به.

على أن عملية صنع الذرات لم تصل بعد إلى نهايتها؛ فهناك تلك الرجفات التي تتولد كميًّا، وتلك التخثرات المتكتلة في السحاب، وهناك الجاذبية، تلك القوة الكريمة بقلبها العطوف وما لها من أقدام وأحذية محسوسة فوق الأرض. الجاذبية أضعف قوى الطبيعة الأربع، ولكنها تنجح في العمل على الكتل الكبيرة، ولديها ميزة إضافية في أنها دائمًا تجذب ولا يحدث أبدًا أن تدفع شيئًا بعيدًا. بعد مليون سنة أو ما يقرب من تمدد لاهث يدفعه ما للانفجار من ظاهرة للضغط المحدد للخارج، بدأت الجاذبية تمارس قوة مضادة لذلك لها مفعول ملطف. أخذ المعدل الإجمالي والمقياس الكلي للنمو يتباطأ دائمًا على نحو هين للغاية، ولكنه يتيح لجيوب المادة الأكثر كثافة في الكون الفرصة لأن تتلكأ وأن تُمخَض، وتدور في دوامة وتطوف. وما إن

يلتوي على نفسه نموذج من هذه المتاريس الهيدروجينية، له الكثافة الكافية، حتى تحكم الجاذبية حقًّا من قبضتها وتشد هذا الجيب الغازي داخليًّا في شكل كرة. يغدو الغاز عند تكاثفه أكثر سخونة، وتصبح ذراته أكثر هياجًا. سرعان ما تزيد سخونته إلى حد بالغ يؤدي إلى انتزاع الإلكترونات ثانية بعيدًا عن شركائها النوويين، ليعود الغاز إلى الحالة البلازمية التي كان الكون عليها مبكرًا وهو صغير. عند المركز من مدار الغاز — حيث تكون الحرارة والضغط في أقصى حالة من الحث — لا يقتصر الأمر على أن تنفصل الإلكترونات متحررة من بروتوناتها، وإنما يحدث أيضًا أن تنضغط بروتونات الذرات المتفردة من الهيدروجين لتتقارب معًا لأكثر وأكثر، حتى يمكن في النهاية التغلب على تنافرها المتبادل كهرومغناطيسيًّا، ويمكن بدء عملية من اندماج نووي جديد بمدى أجرأ وأكثر طموحًا من أي شيء رأيناه في الآلام الحادة المبكرة للانفجار.

كما نعرف جميعًا من السنوات التي سمعنا فيها عن تلهف صناعة الطاقة تلهفًا شديدًا للحصول على القدرة على ترويض الاندماج النووي، فإن هذا الاندماج النووي يعد شيئًا رائعًا، وكأنه القزم «رامبلستلتسكين»[١٢] ماشيًا «بالستلتس» أو الطوالات الخشبية. ولا يقتصر ما يفعله الاندماج النووي على أنه يحول ما هو خفيف وبسيط إلى ما هو ثقيل ومعقد، وإنما نجد أن نفس فعل اندماج نوى الذرات معًا يطلق دفعة كبيرة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، أي دفعة كبيرة من الطاقة. نجحنا نحن البشر في أن ندمج ذرات الهيدروجين معًا وتؤدي هذه العملية إلى إطلاق عنان تفجر هائل من الطاقة، وهذا هو مصدر قوة القنبلة الهيدروجينية التي تشبه القوى الأسطورية في سفر الرؤيا. أما ما يتطلب براعة تفوق ذلك كثيرًا فهو أن نبتكر طريقة لدمج الذرات على نحو محكوم ومنظم، وبالطبع بتكلفة لها جدوى اقتصادية. هذه مهمة رهيبة، ولكنها مهمة تنجزها شمسنا يوميًّا، هي والنجوم الأخرى في الكون التي يصل عددها إلى بليون تريليون

[١٢] رامبلستلتسكين: قزم في قصة أسطورية ألمانية له القدرة على أن يحول التبن إلى ذهب. (المترجم)

تقريبًا. مصدر طاقة النجم ولمعانه وحرارته وضوئه — المرشد الجدير بالتمنيات — هو الاندماج النووي الحراري، ما يحدث باستمرار في قلب النجم الكثيف من اندماج لأعداد كبيرة من الذرات الصغيرة إلى أعداد أقل من الذرات الكبيرة. طاقة الاندماج النووي هي العلامة المميزة التي تميز النجم، ويتطلب نزعها عنه قدرًا من القوة والكثافة. كوكب المشترى كرة كبيرة جدًّا من الغاز، ولكنه ليس كبيرًا بالدرجة الكافية. فالذرات في قلبه ليست تحت ضغط كاف لتغيير هويتها كعنصر. الاندماج النووي الحراري يحدث فقط عند كتلة كرة غاز تزيد بما يقرب من ثمانين مرة من كتلة المشترى، وعندها فقط يكون لكرة الغاز قوة وجرأة القلب اللازمة لإنجاز الاندماج النووي الحراري، وأن يحدث أن تنضغط معًا النوى المتفردة المتنافرة في تألق مشع لحالة زواج ذري.

على أن أول نجوم تكثفت من السدم الأولية كانت على الأرجح أكبر كثيرًا من ثمانين حجم للمشترى، أو حتى ثمانمائة حجم للشمس، ذلك أنها عندما تبدأ في تقلصها، وتؤدي الجاذبية عندها إلى انضغاط كتلة الغاز السميكة إلى كرة أكثر تماسكًا وانتظامًا في شكلها، فإن هذا الجرم المتزايد في كثافته سيظل يجذب المادة بتزايد مستمر من البيئة الغبارية المحيطة به وهكذا ينمو سريعًا بالتضايف إلى حجم هائل. الكون المبكر بالمقارنة بالكون حاليًّا كان مكانًا غازيًّا مُغْبَرًّا معقدًا بغير نظام، ومن ثم فإن الكرة المتكثفة لا يكون أمامها أي خيار سوى أن تشد لداخلها حزمًا ضخمة من مادة إضافية وهي تزداد انغلاقًا محكمًا على نفسها، وهي هكذا تعزز من كتلتها حتى وإن كان حجمها يقل. الضخامة تقتضي ثمنًا شخصيًّا باهظًا: فالنجوم العملاقة تموت وهي صغيرة السن موتًا عنيفًا، ومع ذلك فحياتها وإن كانت قصيرة فإن فن هذه النجوم البارع يبقى طويلًا بعدها. ويستحق الأمر أن نلقي نظرة على الدراما التوثيقية لعبقرية النجوم:

دعنا نفترض للتبسيط أن نموذجنا للنجم المؤسِّس مصنوع من هيدروجين خالص، ولا يشوبه أي من محاولات الانفجار الكبير لتكوين عناصر أخرى. نجمنا النموذج هو تكثف هائل للهيدروجين، كتلته تزيد مائة

مرة عن كتلة الشمس، وقد نزعت الإلكترونات منفصلة عن بروتوناتها، والكل في حساء من البلازما. تشد الجاذبية كل شيء للداخل، تجاه نقطة متخيلة عند المركز، ومن ثم فإن تكدس جسيمات الهيدروجين يغدو أعظم كلما دخلنا إلى الأعمق. عندما نصل إلى منطقة القلب الفائقة الحرارة، والفائقة الضغوط نجد أن نوى الهيدروجين تدور وتنضغط، وتدور وتنضغط حتى تتجاوز حافة حرجة، ينهزم عندها التنافر الكهرومغناطيسي، وتندمج معًا جسيمات الهيدروجين المنفصلة لتصبح نوى هليوم. يؤدي هذا الاندماج الحراري النووي إلى انطلاق طاقة تأخذ في الإشعاع للخارج، من القلب إلى السطح، وينتج عما يُشَع بقوة من حرارة وضوء توازن مضاد لشد الجاذبية للداخل. الحقيقة أن الإشعاع النابض، هبة الاندماج السخية، هو ما يُبقي النجم سليمًا، ويحفظ طبقاته الداخلية من التقلص تحت ثقل الطبقات الأخرى من فوقها. ولكن هذا الجهد يتطلب طاقة شديدة وفيه نوع من النزعة الوحشية لآكلي لحوم البشر.

كما كتب بيتر اتكنز عالم الكيمياء في أوكسفورد، فإن شهية أحد النجوم للهيدروجين هي «حقًّا هائلة». مثال ذلك أن شمسنا تدمج ٧٠٠ مليون طن من الهيدورجين في كل ثانية لتتحول إلى هليوم، وهي إذ تفعل ذلك تشع للخارج أجزاء منها هي نفسها يوميًّا، ناثرة الدفء والضوء عبر المنظومة الشمسية، بما في ذلك أمنا الأرض المثقفة كل الثقافة، وما معها من تسع (أو ثماني) فطائر، وما لديهم من بطانة من الأقمار، وحزام الكويكبات، ومذنب هيل بوب، ومذنب كوهاوتيك[١٣] أيضًا. ومع كل هذا ومع أن الشمس ظلت تحترق لخمسة بلايين عام — وحتى وهي تتزايد هزالًا مع كل لحظة تمر — فإن لديها ما يكفي من هيدروجين، قد حُزم بدرجة الكثافة المناسبة بالضبط لأن تبقى مشتعلة لخمسة بلايين عام أخرى.

ليس لأسلافنا من النجوم النهمة حياة طويلة هكذا. ذلك أن ما يحدث لها أن الوزن الضخم لجبال مادتها المتضايفة يزيد من سخونة طبقات

[١٣] هيل بوب وكوهاوتيك: مذنبان ظهرا بوضوح في النصف الثاني من القرن العشرين. (المترجم)

القلب بسرعة مذهلة، بما يعجل من معدل الاندماج، ويؤدي سريعًا إلى نضوب مخازن النجم من الهيدروجين، في زمن قصير ربما يكون مليونين من السنين بعد بدء تكوين النجم. ينفد وقود الهيدروجين، وينقطع ضغط طاقة الاندماج المضادة التي كانت تؤدي إلى استقرار النجم، ويقع النجم ثانية فريسة للجاذبية وينكمش انكماشًا حادًّا. هذا الانخفاض في الحجم يؤدي بدوره إلى ارتفاع الحرارة والكثافة في القلب، حتى يجري تجاوز الحافة التالية للاندماج النووي. تأخذ الآن جسيمات الهليوم، ثمرة مفعول مطبخ الاندماج السابق، في أن تندمج إلى كربون، بما يغمر النجم بتفجر جديد من الطاقة المشعة تُوقف التقلص الجذبي، بمعنى أنه يتوقف حتى ينفد الهليوم أيضًا، وعندها تبدأ جولة جديدة من التقلص، يتبعها حدث اندماج جديد، يؤدي إلى أن يحدث في قلب النجم تخليق لذرات جديدة أو ما يسمى بالتركيب النووي، وهذه الذرات هي بدورها أثقل. يواصل النجم مسيرته قدمًا عبر الجدول الدوري للعناصر وهو يناضل ليتجنب أن يتقلص بأكمله، ويطرق النوى الأصغر لتشكل نيتروجين، وأوكسجين، وصوديوم، وفوسفور، وبوتاسيوم، وكالسيوم، وسيليكون، نعم، إنها كلها المكونات المألوفة التي تَرِد في قوائم التغذية، أو التي تثير بهجة فتوات كمال الأجسام المستأسدين على الشاطئ، ويستمر التركيب النووي وصولًا إلى الحديد والنيكل، العناصر التي لها الأشكال النووية الأكثر استقرارًا من الجميع. ما زلنا عند ما يقرب فقط من ربع الطرق خلال الجدول الذري، وهناك عناصر أخرى كثيرة للتركيب ولكنها أثقل، والحديد والنيكل يضعان علامة النهاية لخط القدرة على الدمج؛ إذا دمجنا نواة حديد بنواة أخرى منه لن تنطلق أي طاقة. وعلى العكس، فإن هذا الاتحاد الثقيل الوزن يتطلب «مُدخل» طاقة. في حين أن انطلاق الطاقة المشعة خافقة للخارج هو الذي يحفظ النجم من أن يتقلص على نفسه. هكذا تغدو لحظة الوداع الأخير دانية.

النجم في هذه المرحلة يشبه كرة ضخمة من البقلاوة، فهناك قلب كثيف من نوى النيكل والحديد يحيط به أغلفة رقيقة من عناصر تتعاقب حسب

خفتها قد خبزها النجم خلال دهور ولكنها لم تصل إلى مرحلة نزعة آكلي لحم البشر، ومع الافتقار إلى أي متراس إشعاعي ضد الجاذبية، فإن البناء كله لا يلبث أن يتكاثف مرة ثانية، وتحلّق درجة حرارة القلب إلى ثمانية بلايين درجة، وهي حرارة تكفي لتركيب عناصر تتجاوز الحديد والنيكل قليلًا ولكن هذا لا يفيد النجم بشيء؛ لأن محركه الذي يؤدي مفعوله إلى الاستقرار الحراري النووي، وانطلاق الطاقة المشعة بواسطة الاندماج، هذا المحرك قد مات. يبدأ القلب في فقدان بنيته، وتغوص الطبقات العليا إلى الداخل تجاه الطبقات الأسفل. تتواثب فوتونات الضوء بعنف في كل اتجاه، وتشطر في أجزاء متباعدة أي جسيمات تقف في طريقها. يتهاوى داخلُ النجم تهاويًا بلا تحكم، وتنساب طبقات البلازما المرقطة بنفسها بلا حيلة تجاه نقطة متخيلة عند مركز الجرم. في أقل من ثانية ينضغط قلب كان عرضه يصل إلى عرض شموس كثيرة ليصبح شيئًا في حجم أمريكا الشمالية، يبعث هذا التقلص الكارثي موجات صدمة خلال كل الجرم السماوي وينفث خارجًا هالة من مادة نجمية هي كما يقول بيتر أتكنز تشبه «تسونامي[١٤] كروي هائل». يتفجر نجمنا كسوبرنوفا، وفي هذه اللحظات الثائرة الختامية في حياته، تُشَكَّل العناصر الثقيلة الوزن حقًّا في جدول العناصر: البلاتين، والثاليوم، والبزموت، والرصاص، والتنجستن، والذهب. تتناثر الجسيمات الوليدة الجديدة في الفضاء، ومعها الكثير من العناصر الأخرى الأخف نسبيًّا التي كونتها أحشاء النجم قبل أن ينفجر النجم كله.

بسبب هذا النثار من الشظايا يمكننا أن نبدي امتناننا لنجومنا المحظوظة. عندما يتملح الكون الصغير السن بالعناصر الثقيلة، وخاصة المعادن، فإن أول ما يتكوّن هكذا من النوفات (المتوهجات) الضخمة يساعد في إحداث ازدهار في إنشاء النجوم. يفسر تشاك ستيدل الأمر قائلًا إن غاز الخلفية يكون عندها ساخنًا، ومن الصعب أن نجعل النجوم تبدأ من كتل من غاز في حالة سخونة مفرطة وهياج مفرط. تؤدي جسيمات المعدن التي

---

[١٤] تسونامي: موجه بحرية هائلة يسببها بركان أو زلزال تحت الماء. (المترجم)

وُرثت من النجوم السابقة إلى تبريد المشهد العام الغازي بما يكفي لأن يأخذ العديد من دوامات السدم في التكثف إلى نجوم، وإلى حشود عنقودية من النجوم، وإلى براعم لمقاطعات كاملة من نجوم تندفع في هياج. يقول ستيدل: «فيما نعتقد، تتطور الأجرام من نجوم ضخمة إلى مجرات صغيرة بسرعة كبيرة نسبيًّا، خلال أول بليون سنة أو ما يقرب من عمر الكون.» تتكون المجرات الأكبر بعدها عن طريق اندماج المجرات أو الاستيلاء على المجرات الأخرى، وذلك بواسطة ما يحدث من اصطدامات بين المجرات، أو بأن تكون إحدى المجرات نسبيًّا أكثر كثافة وجاذبية، فتمتص محتويات مجرة أصغر. منذ ١٢ بليون سنة أو ما يقرب — أي بعد الانفجار الكبير بزمن من ١,٧ بليون سنة — تكونت معظم مجرات الكون، بما فيها مجرتنا درب التبانة، وإن كانت هذه المجرات ستواصل الإبحار أبدًا للخارج متباعدة إحداها عن الأخرى، وهي تسبح فوق نسج حرير الكون المتمدد، وتواصل كل مجرة تطورها، ومعها سلعها المتجمعة تدور حول نقطة المنتصف من كتلتها، ومواطنوها من النجوم يعيشون حياتهم بإيقاعات وحرارات متباينة، تعتمد على كتلتها ومدى قربها من النجوم الأخرى. سنجد في مجرات كثيرة، وخاصة اللولبية منها، حضانات نجوم مزدهرة، بقع كثيفة نسبيًّا من الغاز والغبار يتواصل تكثف نجوم جديدة منها، وغالبًا ما يكون حدث الولادة مدفوعًا بموت إجباري عنيف لنجم ضخم أكبر سنًّا كان يعيش في الجوار.

هذا هو ما يرجح من أمر مجموعتنا الشمسية. منذ ما يقرب من ٥ بلايين سنة، كانت هناك موجات صدمة من سوبرنوفا متفجرة وما يلازمها من إخراج النجم لعناصره الثقيلة المفيدة صحيًّا لتنطلق في فضاء ما بين النجوم، ويؤدي هذا إلى أن يستثير بدء تكثف سحابة رثة من الغاز والغبار في أحد أذرع مجرة درب التبانة. مع تقلص السديم، يأخذ في الدوران حول نفسه (تمامًا مثلما تدور بطلة تزحلق على الجليد وقد ضمت إليها ذراعيها) ويتسطح في شكل قرص (الأمر الذي لا يحدث للمتزلجة لحسن الحظ). خلال ملايين عديدة من السنوات في دوران مستمر ينشد الجزء الأكبر من الكتلة بواسطة الجاذبية تجاه المركز من الكعكة، مكونًا نتوءًا تستمر حرارته

وكثافته في التصاعد إلى الأبد، ولا يلبث في النهاية أن يتفجر تفجرًا نوويًّا حراريًّا رائعًا. يظل بعض من مادة القرص فيما حول الشمس المولودة حديثًا، تنورة صغيرة من الغاز والغبار، وكل العناصر المائة العجيبة التي أخذ العالم ديمتري مندليف بعد ذلك في ترتيب مقاعدها حول مائدته أو جدوله، تتجمع هذه المادة في تكتلات؛ الكواكب الأولية هي وأقمارها الأولية. على مقربة من الجرم المركزي، لا يتحمل الحرارة إلا تجمعات الصخر والمعدن، وهكذا فإن الكواكب الداخلية الأربعة — عطارد والزهرة والأرض والمريخ — تتكون من كُرات من الصخر والمعدن ويُطلق عليها الكواكب الأرضية بمعنى اليابسية، الكواكب الصلبة حتى قلبها. درجة الحرارة على القرص عند منطقته الخارجية تكون باردة بما يكفي لتجمد الماء، وما إن تتكون جسيمات الجليد حتى تتصادم وتُجمع غازًا وغبارًا في تأثير حقيقي لكرة ثلج، ينتج عنها الكواكب الأربعة الخارجية، التي تسمى الكواكب الغازية؛ المشترى، وزحل، وأورانوس، ونبتون. هناك بلوتو وسِدنا وغيرهما من الفئة تحت المدموجة، وسواء اعتبرناها من الكواكب، أو الكواكب القزمة، أو مصغرات كواكب أولية، أو تقليد كواكب أو حتى ضيوف حفل يقيمه مزارعون، سواء كانت أيًّا من هذا فإنها قد تكونت في حزام كوبر، أحد أبرد وأوطأ حواف القرص الشمسي وأكثرها رقة في السمك حيث لا يوجد ما يكفي لصنع الكثير منها. يُعد بلوتو وسِدنا من بين أضخم الأجرام الصخرية الجليدية في الحزام وكأنها البهيموث أو فرس البحر في العهد القديم، ومع ذلك فلا يزال في الإمكان أن يتوارى ما يقرب من ١٠ أجرام بحجم بلوتو داخل عطارد بحجمه الضئيل، أو ربما يتوارى ١٥٠ منه داخل الأرض.

شمسنا نجم طيب، قوي البنية، ووصل إلى النصف فقط من مدى عمره. لكن عندما يبدأ مخزونها من الهيدروجين في الانخفاض سيكون عند الشمس حيل قليلة لا غير للإبقاء على اشتعال البلازما فيها. بعد ٥ بلايين عام تكون الشمس قد استنفدت ما يوجد من هيدروجين عند قلبها الكثيف، فتأخذ في إحراق الهيدروجين في طبقاتها الخارجية الرفيعة السُّمك نسبيًّا، وهي إذ تفعل ذلك تنتفخ لما يصل إلى ثلاثين مثل حجمها الحالي. ستكون

الشمس المتورمة هكذا أبرد في حرارتها، وإشعاعها أكثر احمرارًا مما هي عليه الآن. ستكون شمسنا عملاقًا أحمر، وويل لأي مخلوق أرضي يوجد وقتذاك ليشهد احمرار وجهها في غرور، ذلك أن من المرجح أن كوكب الأرض الذي يقفون عليه سيتبخر مع تمدد الشمس. من الأفضل لسلالتنا البعيدة في المستقبل أن تفعل كل ما في وسعها لتهجر كوكب الأرض قبل تمدد الشمس بزمن كاف، وتتخذ موضعًا سكنيًّا جديدًا يكون مثلًا في أحد الأقمار الكبيرة للمشترى أو زحل. عندما يحدث تمدد الشمس ستكون الأماكن مثل قمر المشترى جانيميد وقمر زحل تيتان قد تحولت إلى أماكن أكثر اعتدالًا بكثير مما هي عليه الآن؛ فتغدو السماء فيهما لامعة، وتذوب مخازن الجليد فيهما إلى مياه تسيل في محيطات وأنهار. بل إن تيتان له جو من الغاز، هو وإن كان حاليًّا لا يصلح للتنفس، فإنه يمكن من الوجهة النظرية أن يعاد تشكيله ليلائم تنفس البشر، كما أن ما يطل عليه من مشاهد خلابة لحلقات زحل يُعد ميزة إضافية واضحة. أينما حط مسافرو الفضاء رحالهم فسوف يمكنهم أيضًا خلع أحذيتهم ذات الرقبة الطويلة ويستقروا فوق مقعد مريح. أما الشمس فستبقى تشع كعملاق أحمر لبليونين آخرين من السنين.

ثم ماذا بعدها؟ بعدها سيحين وقت فك المعسكر والتوجه إلى منظومة شمسية جديدة تمامًا. الشمس نجمنا ينقصها الكتلة الكافية لأن تنفجر، وبدلًا من ذلك فإنها ببساطة ستتمدد متناثرة في غمار ظلمة قاحلة. بعد استنفاد الغلاف الهيدروجيني سيتقلص القلب بحدة وتبدأ طبقاته الأعلى في الانسلاخ خارجًا إلى الفضاء. وفي النهاية يكون كل ما يتبقى هو جذوة كثيفة ذات دخان تتكون من كربون وأوكسجين وحجمها أكبر بالكاد من الأرض. ما كان ذات يوم الإله رع الجبار والعملاق الأحمر المقدام و«المؤقت» سيكون قد تحول إلى قزم أبيض، ومع أن نجم الشمس لن يعود قادرًا على توليد طاقة الاندماج بواسطة الحرارة الخالصة، فإنه سيظل يتوهج وهو في هذا الثوب التنكري إلى باقي الزمان.

تستطيع الشمس هي والنجوم الأخرى المتوسطة الحجم أن تبني — بالاعتماد على أساسيات الانفجار الكبير — العناصر التي نطالب بها

نحن البيولوجيون الذين يلعبون بقطع لعبة الليجو، خاصة عناصر الكربون والأوكسجين والنيتروجين. يتكرر أن تكوّن النجوم العادية الأوكسجين ويفسر هذا جزئيًّا السبب في أن الأوكسجين هو ثالث العناصر شيوعًا في الكون بعد الهيدروجين والهليوم، كما أن الشيوع المشترك للهيدروجين والأوكسجين معًا يفسر السبب في وجود الماء ثم الماء في كل مكان، وإن كانت الأرض وحدها هي التي توجد فيها قطرات المياه لشربها. لكن النجوم المتواضعة في إمكاناتها التي تتحكم في مزاجها تحتفظ بمعظم ما تصنعه لنفسها، ولا تورد إلا كميات ضئيلة إلى المخزون الكوني لعناصر ما بعد الهليوم، العناصر الثقيلة التي تُصنع منها المادة الحية. الجزء الأكبر من بضاعتنا الفانية – ما يوجد من الكربون في خلايانا، والكالسيوم في عظامنا، والحديد في دمنا، وإلكتروليتات الصوديوم والبوتاسيوم التي تتيح لقلوبنا أن تنبض ولخلايا أمخاخنا أن تنطلق مشتعلة – أنضج في أفران لنجوم أكبر كثيرًا من نجومنا، وأُلْقِيَ به في الخلطة الكونية عندما انفجرت تلك النجوم. يقول ألكس فيليبنكو: «نحن من خامة النجوم، جزء من الكون. وأنا هنا لا أتحدث بطريقة عامة أو مجازية، بل إن الذرات المحددة في كل خلية في جسمنا، جسمك وجسمي، وجسم ابني، وجسم قطتك الأليفة؛ ذراتهم هذه كلها قد اكتمل طهيها داخل نجوم ضخمة. هذه النتيجة هي فيما أرى إحدى أكثر النتائج إذهالاً في تاريخ العلم، وأود لو يكون الجميع على علم بها.»

من المرجح جدًّا أن السديم الغازي الذي تكونت منه منظومتنا الشمسية قد أُثْرِيَ مرات عديدة بمواد نجمية، أو بالبقايا المترفة لسوبرنوفات عديدة انفجرت عن قرب على مر آخر عشرة بلايين عام. أدت كل جولة من عمليات الإثراء هذه إلى تعزيز الفرصة لأن تبرد السحابة في النهاية، وتدور وتتكثف إلى نجم له حافة، ويثبت أن الحافة فيها عناصر ثقيلة بما يكفي لإنتاج الكواكب الداخلية الصخرية المعقدة التركيب التي يمكن أن تبرم الحياة معها صفقة. لن يكون التوزيع هنا بحسابات الأطفال في أغانيهم مثل (حادي بادي وكله على ذي) لا أظن ذلك. وإنما سيكون بطريقة مسابقة التليفزيون

حيث تُخَبَّأ الجوائز وراء ثلاث ستائر، الجوائز وراء الستارة الثالثة، والغنيمة كلها لي أنا.

نحن نعرف أن هناك حياة على كوكب الأرض، وأنه من بين كل الأنواع الموجودة في تاريخ تطورها هناك نوع واحد على الأقل، هو إن لم يكن دائمًا نوعًا معقولًا أو يعتمد عليه، فإنه بلا ريب نوع بارع جدًّا في اختراع الأدوات، وخاصة الأدوات التي تتيح لنا أن نشارك في أشكال من تواصل حيوي متحرر من الجسد ونحن في الوقت نفسه نسوق السيارة، أو نعبر الطريق في غير الأماكن المحددة لعبور المشاة، أو نستمع لعزف ابنة منفرد على البيانو في حفل موسيقي. نحن لا نكل من إجراء اتصالات عن بعد حتى إننا نشعر بأن العالم بكل ما يحويه من سكان عددهم ٦٫٥ بليون نسمه، ليس فيه ما يكفينا للاتصالات ولا نملك إلا أن نتساءل في عجب: من الذي نستطيع أن نهاتفه غير هؤلاء؟ هل هناك كائنات أخرى فوق عوالم أخرى؟ وهل سنتمكن بأي حال من الاتصال بهم، أو أن يتصلوا هم بنا؟ هل نحن نوجد وحدنا، أو أننا نعيش في كوكب واحد بين ملايين الكواكب المسكونة في المجرة، أو بلايين الكواكب في الكون كله؟ هل سيحدث أن نتوقف بأي حال عن الإحساس بأنه من الصعوبة البالغة والخواء البالغ أن نظل نسأل ونسأل ونسأل؟ هل هناك أي دليل بطريقة أو أخرى على وجود حياة خارج الأرض؟ ما الذي يعتقده رواد الفضاء؟ وهل تفكيرهم في هذا السؤال — الذي يتسم بنزعة كونية أكثر من أي سؤال آخر — له أي وزن مهم أكثر من تفكير طفل في الخامسة يحلم بدرب التبانة في مسرحية موسيقية؟

الإجابات عن هذه الأسئلة تحمل خليطًا من الأنباء الجيدة والسيئة. الأخبار السيئة هي: لا، نحن لا نستطيع أن نتصل بأي كائنات من خارج الأرض، حتى باستخدام وسائل الاتصالات المعجزة التي تصل إلى مسافات بعيدة والتي يتصل بها رؤساء الجمهوريات برواد الفضاء للمزاح بشأن طعام الفضاء، ومتسلقو الجبال الذين يقعون في قبضة عاصفة فوق قمة إيفرست ويهاتفون أحباءهم لمناقشة الفرص الضئيلة لعودتهم إلى البيت

لتناول العشاء. ولو أننا استطعنا الاتصال بهم، ألا تظن أنهم ربما يعملون بالفعل كممثلين لأقسام خدمة العملاء متخذين أسماء مستعارة تثير الشك مثل هانك أو شيري؟

معظم الأخبار عن جبهة الأغراب عن الأرض في الفضاء هي بكل أسف أنه لا توجد أي أخبار، أو الأولى أننا لا نعرف أي أخبار. ليس لدينا أدلة من هذا الاتجاه عما إذا كانت هناك حياة فوق عوالم أخرى. لا أدلة بالمرة. كان هناك أولًا في تسعينيات القرن العشرين فورة من الهياج حول إمكان أن نكون قد اكتشفنا علامات على وجود حياة ميكروبية فوق المريخ حاليًّا أو في الماضي، لكن الأدلة انهارت بعدها. لا يوجد أي دليل موثوق به على أن كائنات من خارج الأرض قد زارت كوكب الأرض بأي حال أو اختطفت أحد سكان الأرض أو فتشت أي تجاويف لأجساد أرضية لأغراضها المبهمة الشائنة. لا يزال على الكائنات اللاأرضية أن تستجيب للتسجيلات التي حمّلناها على متن أول سفينتين من سفن «فوياجير» للفضاء اللتين أطلقتا في ١٩٧٧م: تسجيلات لتحيات كلها شوق شديد بخمس وخمسين لغة؛ وموسيقى لباخ، وبيتهوفن، ولويس أرمسترونج، وموسيقى مصفار[١٥] بيروفي، وعزف أذربيجاني على البالابان،[١٦] وغناء حيتان، ونخر شمبانزي، وصفارة قطار في سيره لتمثل ظاهرة دوبلر. هل هناك حياة على كواكب أخرى؟ لا نعرف الإجابة عن ذلك إيجابًا أو سلبًا، ولا توجد براهين في أي من الاتجاهين، وهكذا فإن العلماء لا يمكنهم أن يقولوا شيئًا عن هذا الموضوع، أو هل يمكنهم ذلك؟

لا، لا يمكنهم، ومع ذلك فإنهم يتكلمون عنه بالفعل. هناك أخبار طيبة، بما هي عليه، وإن كنت أحذر القارئ من أنها ليس فيها الكثير، وهي أخبار عن أن الأغلبية العظمى من رواد الفضاء الذين قابلتهم يعتقدون أن هناك حياة على الكواكب الأخرى. يعتقد البعض منهم أن الحياة شائعة، وأن الكون يفيض بكائنات من خامة نجمية حُشدت في شكل كائنات حية

---

[١٥] المصفار: آلة نفخ بدائية تتكون من سلسلة أنابيب متدرجة الطول للنفخ فيها. (المترجم)
[١٦] البالابان: آلة من نوع مزامير القرب في أذربيجان. (المترجم)

ناسخة لنفسها هي تقريبًا من بنية تتأسس على الخلايا. ويقول البعض الآخر إن الأرجح أن الحياة أمر نادر، ولكنها مع ذلك، فيما يحتمل، لا تقتصر على الأرض. ويتأتى اقتناعهم بناء على محض الإحصائيات وقاعدة الأعداد الكبيرة. تقول نيتا باكال بجامعة برنستون: «هل نحن وحدنا؟ الإجابة فيما أعتقد سهلة وواضحة. شمسنا ليست إلا نجمًا واحدًا من بين مئات البلايين من النجوم في مجرتنا مجرة درب التبانة، ومجرتنا ليست إلا مجرة واحدة من بين بلايين وبلايين المجرات. الأمر ببساطة أنه من المستحيل أن نكون الحياة الوحيدة في هذا الكون.»

يقول دافيد ستيفنسون بمعهد «كالتك»: «يتجه بي تفكيري إلى أن الحياة شائعة جدًّا في الكون. بالطبع قد يثبت في النهاية أني على خطأ، لكن هذا هو الفرض الذي أبني عليه خططي.»

في لقاء أجريته مع جون باكال بجامعة برنستون قبل موته بزمن ليس طويلًا قال: «أنا واثق ثقة مطلقة في أن هناك خارج الأرض المزيد من الحياة. وهذا أمر من الأمور القليلة جدًّا التي لا أملك أي برهان عليها ولكني مستعد لأن أراهن عليه بمبلغ كبير. الاحتمالات في صفي بصورة مذهلة.»

يقول علماء الفلك: ليس الأمر فقط أنه توجد بلايين من النجوم، بلايين من الأفران الشمسية التي تشع فوتونات صالحة للالتهام وتلتمس عمليًّا أن تؤكل، وإنما من المرجح أيضًا أن هناك بلايين من الكواكب تدور حول هذه النجوم، بلايين من موائد ممكنة حيث ربما نجد عليها كائنات حية تتعاطى المواد الغذائية، وتخرج الفضلات، وتتكاثر، وتستخدم بالفعل طاقم الحلوى الذي حصلت عليه كهدية زفاف. يبدو أن تشكيل الكواكب هو نتاج ثانوي يتكرر عند تكثف النجوم، نتاج القرص الكوكبي الذي يتشكل كنتيجة لكمية الحركة الزاوية للنجم المتقلص وهو يدور، سنجد في أي مكان أن هناك من ١٠ إلى ٥٠ في المائة من النجوم قد يكون لها نصيبها من الكواكب العارضة التي تدور من حولها. يبحث الآن الكثيرون من علماء الفلك عن علامات لوجود كواكب خارج المنظومة الشمسية فيتفحصون ما يوجد من ذبذبات أو عدم انتظام في تحركات النجوم، فقد يكون في هذا إشارة إلى

أن هذه النجوم لها رفاق في الجاذبية، أو هم يتفحصون ما قد يوجد من إعتام متقطع لضوء أحد النجوم الذي سينتج كلما مر كوكب سيار بين النجم وبيننا. ومع أن علماء الفلك ظلوا إلى حين يعثرون على كواكب خارج المنظومة الشمسية — هي فقط من فئة الكواكب الغازية العملاقة التي لا تصلح للسكنى — فإنهم قد اكتشفوا حديثًا علامات لوجود كواكب أصغر يحتمل أن تكون عوالم تتصف بأنها أرضية بدرجة أكبر، وهي تدور في مدارات على مسافات من أمها الشمس تعد معتدلة إلى حد معقول.

يجد علماء الفلك أيضًا ما يريح بالهم بسبب مدى السرعة النسبية التي نشأت بها الحياة على الأرض بعد أن بردت قشرتها، وبسبب ما يوجد من ثبات لا يهتز رسّخت به الحياة أساسها من وقتها. وهم يشيرون إلى الأبحاث الحديثة في مجال النانوتكنولوجي، أي كيمياء المواد التي تنشأ بمقاييس صغيرة أقصى الصغر، والتي تبين أن جزيئات الكربون تشكل تلقائيًّا حلقات وأنابيب وكرات، هي من نفس النوع تمامًا للبنية الهيكلية التي تتشكل الحياة بها. الكربون أحد المكونات الشائعة لشظايا السوبرنوفا، كما يقول علماء الفلك، وإذا كان الكربون له القدرة على أن يتجمع ذاتيًّا بسهولة هكذا في شكل المواد السابقة لتكوين الجزيئات الحيوية، فإن نشأة الحياة قد تكون بهذا أمرًا محتومًا عندما يجد الكربون نفسه وهو يتجمع ذاتيًّا في أوضاع معينة، كما يكون ذلك مثلًا فوق أحد الكواكب مع وجود الرصيد اللازم من الماء السائل. وهذا مرة أخرى ليس بالمطلب المغالى فيه. الماء — مثل الكربون — مادة يشيع وجودها، ومع أن معظم حصة الكون من الماء تكون فيما يبدو في شكل غازي أو متجمد، فإنه من المؤكد أن هناك واحات أخرى سائلة في حيز ما شاسع من الفضاء الخارجي. يقول أندى إنجرسول من معهد «كالتك»: «أينما يكن هنا على الأرض ماء سائل، نجد حياة. الحياة مفعمة بقوة رائعة عندما يصل الأمر إلى التكيف مع مياه باردة أو حارة إلى أقصى حد، أو مع مياه حمضية جدًّا. وباعتبار ما لحياة الميكروبات من قوة شديدة، فإنه من الصعب أن نتخيل أنه عند وجود الماء في مكان غير الأرض لن تجد الحياة طريقة لاستغلال وجوده.»

يغدو علماء الفلك أكثر تحفظًا إلى حد بعيد عندما تثار الأسئلة عن مدى ما قد يكون عليه تعقد هذه الحياة خارج الأرض، وعما إذا كان هناك حضارات بتكنولوجيات أخرى أرقى منا نستطيع نحن من الوجهة النظرية أن نتصل بها. يقول ديف ستفينسون بمعهد كالتك: «عندما نبدأ في التساؤل عن مدى الاحتمال بأنه ما إن تنشأ الحياة حتى تتطور إلى كائن له الذكاء الكافي لمحاولة الاتصال بما حوله والانتقال من حوله، حسن أعتقد أن وضعنا بالنسبة لذلك لا يتيح لنا أن نعطي تقديرات مفيدة.»

ومع ذلك فإن هناك قلة ممن يتسمون بالمرونة ويسعون إلى فعل ذلك بالضبط، وأشهرهم فرنك دريك الذي كان وقتها عالم فلك في كورنيل، ومؤسس المبادرة المسماة «البحث عن ذكاء خارج الأرض» واختصار كلماتها الإنجليزية هي SETI «سيتي»، وقد طرح في ستينيات القرن العشرين، طريقة تناوله المنهجية لحساب عدد «المجتمعات الاتصالية» التي قد تكون موجودة في مجرة درب التبانة، وذلك في صيغة تُعرف الآن بأنها معادلة دريك. يتجه دريك إلى أن يضع موضع الاعتبار سبعة متغيرات، بدءًا من عوامل مباشرة نسبيًّا مثل سرعة تكوين النجم الجديد وعدد النجوم التي يرجح أن لها كواكب، ثم يتقدم بعدها إلى منطقة تتزايد دائمًا في اتصافها بالليونة والذاتية، بما في ذلك احتمالات أن موضعًا معينًا فيه حياة سيؤدي إلى حياة ذكية، أو احتمالات أن هذا الذكاء سيكون من نوع له القدرة على أعمال السمكرة وصنع الأدوات، وأخيرًا احتمالات أن الحضارة البارعة تكنولوجيًّا بعد وصولها إلى النقطة التي تكون قادرة عندها على إرسال تحياتها بعيدًا، سوف تظل باقية زمنًا كافيًّا حتى تسمع إجابتنا.

يلاحظ ستيفنسون أن المؤشر الأكثر اتصافًا بعدم اليقين في معادلة دريك والأقل احتمالًا هو ذلك المؤشر الأخير، ويقول ستيفنسون: «إذا كان مدى حياة إحدى الحضارات المتقدمة هو بآلاف قليلة من السنين فقط، فيصبح عندها احتمال وجود حضارة ذكية أخرى تتعايش معنا احتمالًا منخفضًا. ربما تكون هناك حضارات أخرى قد جاءت ثم راحت قبلنا، أو حضارات جديدة ربما تكون أثناء عملية تكوينها، ولكنها عندما تنتهي من

التكون نكون نحن قد دمرنا أنفسنا. وفي أي من الحالين، يكون من الممكن تمامًا أننا حاليًّا الكائنات الوحيدة الموجودة في المجرة.»

ولكن هيا بنا نتشجع! دعنا نتذكر أنه في حين أن ما نراه ليلًا بالعين المجردة يقتصر غالبًا على رؤية مجرة درب التبانة، فإن الفضاء الذي نعاينه لا يقتصر على مجرتنا. وحتى إذا كان هناك مجتمع اتصالي واحد في كل مجرة، سيظل باقيًا عندنا البلايين من مصادر مفترضة للأمل. لا يمكن إنكار أن وجود مسافات رهيبة بين المجرات يمكن أن يعوق تمامًا أي اتصال بخلاف ما يرد في روايات الخيال العلمي، لكن من الأمور الطيبة أن نعتقد بوجود هذه الكائنات، وجود شركاء محتملين في المكان أو الزمان مع تلك النجوم المنقطة. ومن يعرف؟ لعلهم في حال أحسن من حالنا وقد عثروا على الثقب الدودي الأمثل لما بين المجرات وهم يتجهون بثبات إلينا. من فضلكم، من فضلكم، توقفوا هنا، في أي وقت، في أيِّ موعد نجمي. لا نستطيع أن نقطع وعدًا بذلك، ولكننا سنحاول، بكل ما لدينا من قلب وهيموجلوبين وبكل خلية من التسعين تريليون خلية من خلايا جسدنا وكذلك خلايا البكتريا التي تتكافل معنا، سنحاول أن ننتظر، وأن نتفادى أن نصاب برصاصاتنا، وأن نكون هنا عند وصولكم.

المراجـــع

١. التفكير علميًّا: الخبرة من غير الجسد

Altschuler, Daniel R. *Children of the Stars: Our Origin, Evolution and Destiny.* Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2002.

Atkins, Peter. *Galileo's Finger.* Oxford: Oxford University Press, 2003.

Ben-Shahar, Y., A. Robichon, M. B. Sokolowski, and G. E. Robinson. "Influence of Gene Action Across Different Time Scales on Behavior." *Science* 296 (2002): 741–44.

Bryson, Bill. *A Short History of Nearly Everything.* New York: Broadway Books, 2003.

Donald, Janet. *Learning to Think.* San Francisco: Jossey-Bass, 2002.

Eisner, Thomas. "Making the Microscope Loom Large in a Child's Life." *New York Times,* August 10, 2004. June 23, 2006 "www.nytimes.com".

Emiliani, Cesare. *The Scientific Companion.* New York: Wiley, 1995.

Hazen, Robert M., and James Trefil. *Achieving Science Literacy.* New York: Doubleday, 1990.

Krauss, Lawrence M. *Fear of Physics.* New York: Basic Books, 1993.

Lustig, Cindy, Alex Konkel, and Larry L. Jacoby. "Which Route to Recovery?" *Psychological Science* 15 (2004): 729–35.

National Science Foundation. "Science and Engineering Labor Force." *Science and Engineering Indicators 2006.* September 6, 2006 "http://www.nsf.gov/statistics/seind06/c3/c3s2.htm#c3s212".
Piel, Gerard. *The Age of Science.* New York: Basic Books, 2001.
Pollack, Henry N. *Uncertain Science ... Uncertain World.* Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
Remnick, David, ed. *Life Stories: Profiles from* The New Yorker. New York: Modern Library, 2001.
"Science Dull and Hard, Students Say." *BBC News.* September 6, 2006 "http://news.bbc.co.uk/1/hi/education/4100936.stm".
Tallack, Peter, ed. *The Science Book.* London: Cassell, 2001.
Trefil, James. *The Nature of Science.* Boston: Houghton Mifflin, 2003.
Trefil, James, and Robert M. Hazen. *The Sciences: An Integrated Approach.* New York: Wiley, 2001.
Weinberg, Steven. "Can Science Explain Everything? Anything?" *The New York Review of Books.* May 31, 2001. January 31, 2002 "http://www.nybooks.com/articles".

٢. الاحتمالات: لمن ينحني الجرس

American Academy of Dermatology. "Melanoma Fact Sheet." *AAD Public Resource Center.* September 6, 2006 "http://www.aad.org/public/News/DermInfo/MelanomaFAQ.htm".
Belkin, Lisa. "The Odds of That." *New York Times.* August 11, 2002.
Cohen, Jack, and Ian Stewart. "That's Amazing, Isn't It?" *New Scientist.* January 17, 1998.
Cohn, Victor. *News and Numbers.* Ames: Iowa State University Press, 1989.
Gonick, Larry, and Woollcott Smith. *The Cartoon Guide to Statistics.* New York: Harper Perennial, 1993.
"HIV Infection and AIDS." *National Institute of Allergy and Infectious Diseases.* September 6, 2006 "http://www.niaid.nih.gov/factsheets/hivinf.htm".

Huff, Darrell. *How to Lie with Statistics.* New York: W. W. Norton, 1954.

Koehler, Jonathan J. "One in Millions, Billions, and Trillions." *Journal of Legal Education* 47 (1997): 214-23.

Kolata, Gina. "1-in-a-Trillion Coincidence, You Say? Not Really, Experts Find." *New York Times.* February 27, 1990.

Lee, Jennifer 8. "Who Needs Giacomo? Bet on the Fortune Cookie." *New York Times.* May 11, 2005.

Muller, Richard A. *Physics for Future Presidents.* Berkeley: University of California Press, 2004.

Palo Alto Medical Foundation. "The Darker Side of the Sun: Facts about Skin Cancer." September 6, 2006 "http://www.pamf.org/skincancer/".

Paulos, John Allen. *Innumeracy.* New York: Vintage, 1990.

______. *A Mathematician Reads the Newspaper.* New York: Anchor, 1996.

Phillips, John L. *How to Think about Statistics.* New York: W. H. Freeman, 2000.

Pollack, Henry N. *Uncertain Science ... Uncertain World.* Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Salsburg, David. *The Lady Tasting Tea: How Statistics Revolutionized Science in the Twentieth Century.* New York: W. H. Freeman, 2001.

Slovic, Paul. "Perception of Risk Posed by Extreme Events." *Risk Management Strategies in an Uncertain World.* Palisades, N.Y. April 12, 2002.

Taleb, Nassim N. "Learning to Expect the Unexpected." *Edge.* June 23, 2006 "http://www.edge.org/3rd_culture/taleb04/taleb_indexx.html".

U.S. Department of Health and Human Services. "Results from the 2004 National Survey on Drug Use and Health: National Findings." *Office of Applied Studies.* "http://www.oas.samhsa.gov/NSDUH/2k4NSDUH/2k4results/2k4results.htm#ch4".

Weiss, Rick. "Dazzled by 'Tortured Data." *Washington Post.* November 23, 1993. June 23, 2006 "http://www.nexis.com/research".

Willett, Martin. "Bell Curves." *Debate Unlimited.* June 23, 2006 "http://mwillett.org/bell.htm".

٣. المعايرة: اللعب بالمقاييس

American Society for Microbiology. "Monsters Among the Microbes." *Microbes.* September 1, 2005.

Ash, Russell. *The Top Ten of Everything 2004.* London and New York: Dorling Kindersley, 2003.

Calder, Nigel. *TimeScale.* New York: Viking, 1983.

Carpi, Anthony. "The Cell." *The Natural Sciences.* City University of New York. June 23, 2006 "http://web.jjay.cuny.edu/~acarpi/NSC/13-cells.htm".

"Day." *Wikipedia.* September 6, 2006 "http://en.wikipedia.org/wiki/Day".

Ford, Kenneth W. *The Quantum World.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2004.

Haldane, J.B.S. *On Being the Right Size.* Oxford: Oxford University Press, 1985.

Jaffe, Robert L. *The Time of Your Life — and Other Times.* Manuscript. 2005.

Lieberman, Abraham N. "What You Should Know about the Cell, DNA, and Genes." National Parkinson Foundation. October 6, 2005 "http://www.parkinson.org".

Morrison, Philip, and Phylis Morrison. *Powers of Ten.* San Francisco: Scientific American Library, 1982.

NASA. "Solar History Timeline." *Solar-B.* September 6, 2006 "http://solarb.msfc.nasa.gov/science/timeline/index.html".

"The Nervous System." *ThinkQuest.* September 6, 2006 "http://library.think quest.org/4371/About%20the%20Brain.htm".

Pollock, Steven. *Particle Physics for Non-Physicists.* Chantilly, Va.: The Teaching Company, 2003.

Rensberger, Boyce. *Instant Biology.* New York: Fawcett Columbine, 1996.

Rigden, John S. *Hydrogen: The Essential Element.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2002.

Sandow, Stuart A., Chrissie Bamber, and J. W. Rioux. *Durations: The Encyclopedia of How Long Things Take*. New York: Times Books, 1977.

"Speed of a Bullet." *Science Education Partnerships*. August 1, 2003. Oregon State University, January 4, 2005 "http://www.seps.org/oracle/oracle.archive/Physical_Science.Physics".

Sullivan, Jim. "How Big Is a ...?" *Cells Alive!* September 8, 2006 "http://www.cellsalive.com/howbig.htm".

Tully, Brent. "How Big Is the Universe?" *NOVA Online*. University of Hawaii. June 23, 2006 "http://www.pbs.org/wgbh/nova/universe/howbig.html".

"What Is the Average Speed of a Bullet Leaving the Muzzle of a Handgun?" *Answerbag*. January 4, 2005 "http://www.answerbag.com/".

٤. الفيزياء: وليس هناك ما كثير عليّ

Altschuler, Daniel R. *Children of the Stars: Our Origin, Evolution and Destiny*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2002.

Atkins, Peter. *Galileo's Finger*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Atkins, P. W. *The Periodic Kingdom*. New York: Basic Books, 1995.

Beaty, William J. "What Is 'Electricity'?" *Bill B's Science Hobbyist*. 1996. June 23, 2006 "http://www.amasci.com/miscon/whatis.html".

Charap, John M. *Explaining the Universe*. Princeton: Princeton University Press, 2002.

Emsley, John. *Nature's Building Blocks*. Oxford: Oxford University Press, 2001.

European Space Agency. "Creation of Light Elements." *ESA High School Education*. April 9, 2003. December 1, 2005 "http://www.esa.int/esaED".

Ferris, Timothy. *The Whole Shebang*. New York: Simon and Schuster, 1997.

Feynman, Richard P. *The Pleasure of Finding Things Out.* Cambridge, Mass.: Perseus, 1999.

Ford, Kenneth W. *The Quantum World.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2004.

Freudenrich, Craig. "How Light Works." *How Stuff Works.* June 23, 2006 "http://www.howstuffworks.com/light.htm".

Gamow, George. *Mr Tompkins in Paperback.* Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

Gleick, James. *Isaac Newton.* New York: Pantheon, 2003.

Gonick, Larry, and Art Huffman. *The Cartoon Guide to Physics.* New York: Harper Perennial, 1990.

Hazen, Robert M., and James Trefil. *Achieving Science Literacy.* New York: Doubleday, 1990.

Krauss, Lawrence M. *Fear of Physics.* New York: Basic Books, 1993.

Muller, Richard A. *Physics for Future Presidents.* Berkeley: University of California Press, 2004.

Murphy, Pat, and Paul Doherty. *The Color of Nature.* San Francisco: Chronicle, 1996.

NASA. "The Electromagnetic Spectrum." November 4, 2005 "http://imagers.gsfc.nasa.gov".

Nave, Rod. "Quarks." *Hyperphysics.* George State University. September 8, 2006 "http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/particles/quark.html#c6".

"Observing Across the Spectrum." *Cool Cosmos: Multiwavelength Astronomy.* November 23, 2005 "http://www.coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom".

Overbye, Dennis. "The Universe Seems So Simple, Until You Have to Explain It." *New York Times.* October 22, 2002 "www.nytimes.com".

Pollock, Steven. *Particle Physics for Non-Physicists.* Chantilly, Va.: The Teaching Company, 2003.

Rigden, John S. *Hydrogen: The Essential Element.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2002.

Schneider, Eric D., and Dorion Sagan. *Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics and Life*. Chicago: University of Chicago Press, 2005.

Senese, Fred. "Why Is Mercury a Liquid at STP?" *General Chemistry Online*. June 23, 2006 "http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/periodic/faq/why-is-mercury-liquid.shtml".

Trefil, James, and Robert M. Hazen. *The Sciences: An Integrated Approach*. New York: Wiley, 2001.

Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory*. New York: Vintage, 1993.

Whittle, Mark. "A Brief History of Matter:" *Prof. Mark Whittle's Home Page*. University of Virginia Department of Astronomy. September 8, 2006 "http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr124/matter/matter_three.html".

٥. الكيمياء: النار والجليد والجواسيس والحياة

Angier, Natalie. "Free Radicals: The Price We Pay for Breathing." *New York Times*. April 25, 1993.

______. "Nonfinicky Vulture Wears Its Toxic Feast All Over Its Face." *New York Times*. April 30, 2002, Section F: 3.

______. "Serenade of Color Woos Pollinators to Flowers." *New York Times*. November 26, 1991, Section C: 4.

______. "Some Blend In, Others Dazzle: The Mysteries of Animal Colors." *New York Times*. July 20, 2004.

Ash, Russell. *The Top Ten of Everything 2004*. New York: Dorling Kindersley, 2003.

Atkins, Peter. *Galileo's Finger*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Atkins, P. W. *The Periodic Kingdom*. New York: Basic Books, 1995.

Ball, Philip. *Life's Matrix*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 1999.

______. *Molecules: A Very Short Introduction.* Oxford: Oxford University Press, 2003.

Brain, Marshall. "How Food Works." *How Stuff Works.* June 23, 2006 "http://home.howstuffworks.com/food.htm".

California Academy of Sciences. "Plants That Kill." *Science Now.* May 13, 2001. May 30, 2005 "http://www.calacademy.org/science_now/archive/wild_lives/california_carnivores_051301.htm".

"Chinese Characters." *China Online.* September 6, 2006 "http://chineseculture.about.com/library/symbol/blcc_chemistry.htm".

Coenders, A. *The Chemistry of Cooking.* Park Ridge, N.J.: Parthenon, 1992.

De Duve, Christian. *Vital Dust.* New York: Basic Books, 1995.

Eisner, Thomas. *For Love of Insects.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2003.

Emsley, John. *Nature's Building Blocks.* Oxford: Oxford University Press, 2001.

Garfield, Simon. *Mauve: How One Man Invented a Color That Changed the World.* New York: W. W. Norton, 2000.

Hoffmann, Roald. *The Same and Not the Same.* New York: Columbia University Press, 1995.

Hoffmann, Roald, and Vivian Torrence. *Chemistry Imagined.* Washington, D.C.: Smithsonian Institution, 1993.

Horgan, John. *The End of Science.* Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1996.

McGovern, Patrick E., Juzhong Zhang, Jigen Tang, et al. "Fermented Beverages of Pre- and Proto-Historic China." *PNAS* 101 (2004): 17593-98.

"Molecular Structures." *Chemistry Guide.* April 6, 2005 "http://www.chemguide.co.uk/atoms/".

Moore, John T. *Chemistry for Dummies.* New York: Wiley, 2003.

"Online Etymology Dictionary." September 6, 2006 "http://www.etymonline.com/index.php".

Sacks, Oliver. *Uncle Tungsten: Memories of a Chemical Boyhood.* New York: Knopf, 2001.

٦. البيولوجيا التطورية: نظرية كل فرد

Brumfiel, Geoff. "Who Has Designs on Your Students' Minds?" *Nature* 434 (2005): 1062-65.

Calder, Nigel. *TimeScale*. New York: Viking, 1983.

California Academy of Sciences. "Plants That Kill." *Science Now*. May 13, 2001. May 30, 2005 "http://www.calacademy.org/science_now/archive/wild_lives/california_carnivores_051301.htm".

Campbell, Neil A., Lawrence G. Mitchell, and Jane B. Reece. *Biology: Concepts and Connections*. 3rd ed. San Francisco: Addison Wesley Longman, 2000.

Canadian Museum of Nature. "Star-Nosed Mole" *Nature.Ca*. April 29, 2005 "http://www.nature.ca".

"Ceratobatrachus Guentheri; Solomons Leaf Frog." *Digital Library Project*. Berkeley: University of California. May 10, 2005 "http://elib.cs.berkeley.edu".

Cornish, Jim. "Penguins: General Information." *General Resources*. Classroom Connect. May 18, 2006 "http://www.cdli.ca/CITE/penguins_general.htm".

Cracid Specialist Group. "What Is a Cracid?" May 18, 2005 "http://www.cracids.org/what_is_a_cracid.html".

Dean, Cornelia. "Challenged by Creationists, Museums Answer Back." *New York Times*. September 20, 2005.

De Duve, Christian. *Vital Dust*. New York: Basic Books, 1995.

Delacour, Jean. *Curassows and Related Birds*. New York: American Museum of Natural History, 1973.

Delong, Edward F. "A Plentitude of Ocean Life:" *Natural History*. May 2003.

"The Duck-Billed Platypus." *The Duck-Billed Platypus*. April 29, 2005 "http://www.genevaschools.org".

Ehrlich, Paul R. *Human Natures*. Washington, D.C.: Island Press, 2000.

Eisner, Thomas. *For Love of Insects*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2003.

Fortey, Richard. *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth*. New York: Vintage, 1997.

Fortey, Richard A. *Trilobite!* London: HarperCollins, 2000.

"General Characteristics of Primates." *The Primates: Overview.* April 1, 2005. May 19, 2005 "http://anthro.palomar.edu/primate/prim_1.htm".

Gore, Pamela J. "The PreCambrian." *Georgia Perimeter College.* June 24, 2006 "http://www.gpc.edu/~pgore/geology/geo102/precamb.htm".

"Hallucigenia" *Answers.Com.* September 6, 2006 "http://www.answers.com/topic/hallucigenia".

Harris, Paul. "Mixing Science with Creationism." *Salon.* May 24, 2005 "http://www.salon.com/news/feature".

Keller, Bill. "God and George W. Bush." *New York Times.* May 17, 2003, Section A: 17.

Knoll, Andrew H. *Life on a Young Planet.* Princeton: Princeton University Press, 2003.

Knoll, Andrew H., and Sean B. Carroll. "Early Animal Evolution: Emerging Views from Comparative Biology and Geology." *Ecology* 284 (1999): 2129-37. June 24, 2006 "http://cas.bellarmine.edu/tietjen/Ecology/early_animal_evolution.htm".

Miller, Kenneth R. *Finding Darwin's God.* New York: Cliff Street Books, 1999.

Miller, Kenneth R., and Joseph S. Levine. *Biology: Discovering Life.* 2nd ed. Lexington, Mass.: D. C. Heath, 1994.

Minkoff, Eli C., and Pamela J. Baker. *Biology Today.* 2nd ed. New York: Garland, 2001.

Patuxent Bird Population Studies. "Painted Bunting Passerina Ciris." *Painted Bunting Identification Tips.* April 29, 2005 "http://www.mbr-pwrc.usgs.gov".

Quammen, David. "Was Darwin Wrong?" *National Geographic.* November 2004: 4-31.

Raven, Peter, et al. *Biology.* 7th ed. Boston: McGraw Hill, 2005.

Saletan, William. "Creationism Evolves." *Slate.* September 1, 1999. May 25, 2005 "http://www.slate.com".

______. "What Matters in Kansas." *Slate.* May 11, 2005. May 25, 2005 "http://www.slate.com".

Sever, Megan. "Creationism in a National Park" *Geotimes*. March 2004. May 5, 2005 "http://www.geotimes.org/mar04/NN_grandcanyoncreation.html".

Smithsonian Institution. "Genus: Hallucigenia Sparsa." *National Museum of Natural History Department of Paleobiology*. September 6, 2006 "http://www.nmnh.si.edu/paleo/shale/phallu.htm".

Southwood, Richard. *The Story of Life*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Sze, Emily Lei Pi. "Theodosius Dobzhansky." May 16, 2005 "http://www.mnsu.edu/emuseum/information/biography".

"Tiger Swallow Butterfly" *Enchanted Learning*. September 6, 2006 "http://www.enchantedlearning.com/subjects/butterfly/species/Tigersw.shtml".

Tobin, Allan J., and Jennie Dusheck. *Asking About Life*. 2nd ed. Orlando and Philadelphia: Harcourt, 2001.

University of Manitoba. "Star-Nosed Mole." *The Mole Tunnel*. April 29, 2005 "http://home.cc.umanitoba.ca".

University of Michigan Museum of Zoology. "Family Hominidae." *Animal Diversity Web*. September 6, 2006 "http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Hominidae.html".

Weinberg, Steven. "Can Science Explain Everything? Anything?" *New York Review of Books*. May 31, 2001. January 31, 2002 "http://www.nybooks.com/articles".

٧. البيولوجيا الجزيئية: خلايا وصفارات

American Society for Microbiology. "Monsters Among the Microbes." *Microbes*. September 1, 2005 "http://www.microbe.org/microbes/biggest.asp".

Angier, Natalie. "Free Radicals: The Price We Pay for Breathing." *New York Times*. April 25, 1993.

Atkins, Peter. *Galileo's Finger*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Atkins, P. W. *The Periodic Kingdom*. New York: Basic Books, 1995.

"Bacteria in the Human Body." *Wikipedia.* August 24, 2005 "http://en.wikipedia.org/wiki/Bacteria_in_the_human_body".

Ball, Philip. *Life's Matrix.* New York: Farrar, Straus and Giroux, 1999.

Carey, Bjorn. "Wild Things: The Most Extreme Creatures." *Live Science Animal World.* February 7, 2005. August 26, 2005 "http://www.livescience.com/animalworld/050207_xtremophiles.html".

Carpi, Anthony. "The Cell." *The Natural Sciences.* City University of New York. June 23, 2006 "http://web.jjay.cuny.edu/~acarpi/NSC/13-cells.htm".

"The Cell: Down to Basics." *Beyond Books: Life Science.* September 1, 2005 "http://www.beyondbooks.com".

"Cells." *Biosciences: Science About Life.* September 1, 2005 "http://www.saasta.ac.za/biosciences/cells.html".

Conniff, Richard. "Body Beasts." *National Geographic.* December 1998. August 24, 2005 "http://www.nationalgeographic.com/ngm/9812/fngm/".

"The DNA Codons." *The Genetic Code.* September 21, 2005 "http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/Codons.html".

Emsley, John. *Nature's Building Blocks.* Oxford: Oxford University Press, 2001.

Lieberman, Abraham N. "What You Should Know about the Cell, DNA, and Genes." *National Parkinson Foundation.* October 6, 2005 "http://www.parkinson.org".

Madanecki, Piotr. "Luminescent Bacteria." August 26, 2005 "http://www.biology.pl/bakterie_sw".

"My Favorite Protein: Insulin." *My Favorite Protein.* Davidson College. September 28, 2005 "http://www.bio.davidson.edu/Courses/Mobio".

"Questions and Answers about Biology." *Ken Miller and Joe Levine.* October 7, 2005 "http://www.millerandlevine.com/ques/eggs.html".

Raven, Peter, et al. *Biology.* 7th ed. Boston: McGraw Hill, 2005.

Rensberger, Boyce. *Instant Biology.* New York: Fawcett Columbine, 1996.

Rigden, John S. *Hydrogen: The Essential Element.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2002.

Sullivan, Jim. "How Big Is a ...?" *Cells Alive!* September 8, 2006 "http://www.cellsalive.com/howbig.htm".

"The Theory of Differential Gene Expression." *Developmental Genetics.* October 6, 2005 "http://www.emunix.emich.edu".

٨. الجيولوجيا: تخيل أجزاء العالم

"Aerobic/Anaerobic Systems," *Book Rags Biology Study Guide.* February 10, 2006 "http://www.BookRags.com".

Altschuler, Daniel R. *Children of the Stars: Our Origin, Evolution and Destiny.* Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2002.

American Society for Microbiology. "Monsters Among the Microbes." *Microbes.* September 1, 2005 "http://www.microbe.org/microbes/biggest.asp".

"Asteroids, Comets, and Meteoroids." *BBC-H2g2.* November 4, 2005 "www.bbc.co.uk/dna/h2g2".

Bercovici, David, Yanick Ricard, and Mark A. Richards. "The Relation Between Mantle Dynamics and Plate Tectonics: A Primer." *Geophysical Monograph 121* (2000): 5-46.

Buffett, Bruce A. "Geophysics: The Thermal State of Earth's Core." *Science 299* (2003): 1675-77.

Calder, Nigel. *TimeScale.* New York: Viking Press, 1983.

"The Changing Earth and Cyanobacteria: The Oxygen Revolution." *Carleton Museum.* June 24, 2006 "www.carleton.ca/Museum/stromatolites/OXYGEN.htm".

"Clostridium." *Medic.Uth.* February 10, 2006 "http://medic.uth.tmc.edu/path".

Darling, David. "Ocean's Origin." *The Worlds of David Darling.* June 23, 2006 "http://www.daviddarling.info/encyclopedia/O/oceansorigin.html".

"The Different Plates; Sea Floor Spreading; Subduction." *ThinkQuest.* January 26, 2006.

"Earth's Structure." *ThinkQuest Team.* February 17, 2006 "http://mediatheek.thinkquest.nl".

"Feeding in Green Plants." *The Open Door Web Site.* May 4, 2005. May 30, 2005 "http://www.saburchill.com/chapters/chap-0027.html".

Fortey, Richard. *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth.* New York: Vintage, 1997.

Fortey, Richard A. *Trilobite!* London: HarperCollins, 2000.

Fountain, Henry. "When Giants Had Wings and 6 Legs." *New York Times.* February 3, 2004.

"Geothermal Energy." *Kansas Energy Education Foundation.* June 23, 2006.

Gilman, Larry, and K. Lee Lerner. "Ocean-Floor Bathymetry." *Water Encyclopedia.* September 14, 2006 "http://www.water-encyclopedia.com/Oc-Po/Ocean-Floor-Bathymetry.html".

Gore, Pamela J. "The PreCambrian." *Georgia Perimeter College.* June 24, 2006 "http://www.gpc.edu/~pgore/geology/geol02/precamb.htm".

Hinshaw, Dorothy P. *Shaping the Earth.* New York: Clarion, 2000.

Jeffares, Daniel C., and Anthony M. Poole. "Were Bacteria the First Forms of Life on Earth?" *ActionBioscience.* December 2000. American Institute of Biological Sciences. October 10, 2005 "http://www.ActionBioscience.org".

"Journey to the Center of the Earth Synopsis." *Wikipedia.* February 22, 2006 "http://en.wikipedia.org/wiki/Journey_to_the_Center_of_the_Earth".

Kandel, Robert. *Water from Heaven.* New York: Columbia University Press, 2003.

Knoll, Andrew H. *Life on a Young Planet.* Princeton: Princeton University Press, 2003.

Knoll, Andrew H., and Sean B. Carroll. "Early Animal Evolution: Emerging Views from Comparative Biology and Geology." *Ecology* 284 (1999): 2129-37. June 24, 2006 "http://cas.bellarmine.edu/tietjen/Ecology/early_animal_evolution.htm".

Levy, Sharon. "Navigating with a Built-in Compass." *National Wildlife Magazine.* October-November 1999. National Wildlife Federation. October 10, 2005 "http://www.org/nationalwildlife".

Louie, J. "Earth's Interior." *Seismological Laboratory.* October 10, 1996. University of Nevada, Reno. January 19, 2006 "http://www.seismo.unr.edu".

Martin, William, and Miklos Mueller. "The Hydrogen Hypothesis for the First Eukaryote." *Nature* 392 (1998): 37–41.

Mathez, Edmond A., ed. *Earth: Inside and Out.* New York: American Museum of Natural History, 2001.

Minarik, William. "The Multi-Anvil Press at Work." *Studying the Earth's Formation.* September 18, 2006 "http://www.llnl.gov/str/Minarik.html".

Monastersky, Richard. "Ancient Animals Got a Rise Out of Oxygen." *Science News.* May 13, 1995.

Moores, Eldridge, ed. *Shaping the Earth: Tectonics of Continents and Oceans.* New York: W. H. Freeman, 1990.

NASA. "Evidence Supporting Continental Drift." *NASA: On the Move — Continental Drift and Plate Tectonics.* January 10, 2006 "http://www.earth.nasa.gov".

NASA Goddard Spaceflight Center. "The Water Cycle." September 14, 2006 "http://neptune.gsfc.nasa.gov/education/pdf/Water_Cycle_Litho.pdf#search#%22total%20water%20earth%20nasa%20326%20trillion%22".

Pendick, Daniel. "Earth: All Stressed Out." *Savage Earth.* PBS. January 5, 2006 "http://www.pbs.org/wnet/savageearth".

Robertson, Eugene C. "The Interior of the Earth." *USGS.* June 23, 2006 "http://pubs.usgs.gov/gip/interior/".

"Structure of the Earth." *Fundamentals of Physical Geography.* February 17, 2006 "http://www.physicalgeography.net/fundamentals".

Svitil, Kathy. "The Earth at Work." *Savage Earth.* PBS. January 5, 2006 "http://www.pbs.org/wnet/savageearth".

UK National HPC Service. University of Manchester. "Turing Probes the Earth's Core." September 14, 2006 "http://www.csar.cfs.ac.uk/about/csarfocus/focus4/core.pdf#search=%22pressures%20Earth's%20core%22".

University College, London. "The Development of Life on Earth." *UCL Diploma Course.* August 26, 2005 "http://www.star.ucl.ac.uk".

"USGS Science for a Changing World." *USGS Publications.* September 14, 2006. "http://pubs.usgs.gov/gip/".

Vaiden, Robert C. "Plate Tectonics: Mysteries Solved!" *ISGS Geobit 10.* Illinois State Geological Survey. January 26, 2006 "http://www.isgs.uiuc.edu/servs/pubs/geobits-pub".

Valley, John W. "A Cool Early Earth?" *Scientificamerican.com.* September 26, 2005. February 10, 2006 "www.sciam.com".

Verne, Jules. "A Journey to the Center of the Earth Chapter XXXVI." *Jules Verne Collection.* February 23, 2006 "http://jv.gilead.org.il/vt/c_earth/36.htm/".

Washington State University. "The Big Questions — Photosynthesis." *Ask Dr. Universe.* February 13, 2006 "http://www.wsu.edu/DrUniverse/".

"What Do We Know about the Origins of the Earth's Oceans?" *Scientific American.* June 23, 2006 "http://www.sciam.com/askexpert_question.cfm?articleID=00085119-C6F1-1C71-9EB7809EC588F2D7&catID=3&topicID=22".

Winchester, Simon. *A Crack in the Edge of the World.* New York: HarperCollins, 2005.

٩. علم الفلك: مخلوقات سماوية

Altschuler, Daniel R. *Children of the Stars: Our Origin, Evolution and Destiny.* Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2002.

"Asteroids, Comets, and Meteoroids." *BBC-H2g2.* November 4, 2005 "www.bbc.co.uk/dna/h2g2".

"Beginnings: Space and Time." *Science and Nature: Space.* October 7, 2005 "bbc.co.uk".

"Big Bang." *Wikipedia.* November 10, 2005 "http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang".

"Big Bang Theory." *Creation of a Cosmology.* November 23, 2005 "http://ssscott.tripod.com/BigBang.html".

"Biography of a Star: Our Sun's Birth, Life, and Death." *The Universe in a Classroom.* December 20, 2005 "http://www.astrosociety.org/education/publications".

"Birth of Stars and Galaxies." *PBS: Mysteries of Deep Space.* November 10, 2005 "www.pbs.org".

"Blast from the Past: Farthest Supernova Ever Seen Sheds Light on Dark Universe." *HubbleSite.* April 2, 2001. November 10, 2005 "http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive".

Boughn, Stephen, and Robert Crittenden. "A Correlation Between the Cosmic Microwave Background and Large-Scale Structure in the Universe." *Nature* 427 (2004): 45-48.

Britt, Robert R. "Freeze, Fry or Dry: How Long Has the Earth Got?" *Space.* February 25, 2000. November 24, 2005 "http://www.space.com".

______. "Most Distant Galaxy Hints at Dark Ages." *Space.* February 16, 2004. November 10, 2005 "http://www.space.com/scienceastronomy".

______. "Our Tiny Universe: What's Really Visible at Night." *Space.* December 29, 2003. November 20, 2005 "http://www.space.com".

______. "The Reality of Antimatter." *Space.* September 29, 2003. November 28, 2005 "http://www.space.com".

Chang, Kenneth. "Dying Star Flares Up, Briefly Outshining Rest of Galaxy." *New York Times.* February 20, 2005, Section 1: 26.

______. "Tiny, Plentiful and Really Hard to Catch." *New York Times.* April 26, 2005.

Charap, John M. *Explaining the Universe.* Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2002.

"Colonization of the Outer Solar System." *Wikipedia.* November 23, 2005 "http://en.wikipedia.org/wiki/Colonization_of_the_outer_solar_system".

"Discovery of the Cosmic Background Radiation." *Footprints of Creation.* November 21, 2005 "http://archive.ncsa.uiuc.edu".

European Space Agency. "Creation of Light Elements." *ESA High School Education.* April 9, 2003. December 1, 2005 "http://www.esa.int/esaED".

"Evolution of Stars." *The Milky Way.* December 20, 2005 "http://www.milkyway.com/gb/sevol.htm".

Ferris, Timothy. *The Whole Shebang.* New York: Simon and Schuster, 1997.

"Formation of the Solar System." *Search for Planets.* European Space Agency. December 19, 2005 "http://sci2.esa.int/interactive/media/".

Freudenrich, Craig. "How Light Works." *How Stuff Works.* June 23, 2006 "http://www.howstuffworks.com/light.htm".

Grinspoon, David. *Lonely Planets.* New York: Ecco, 2003.

Hakim, Joy. *The Story of Science.* Washington, D.C.: Smithsonian Books, 2004.

Hamilton, Calvin J. "Star Formation, Life, and Death." *View of the Solar System.* December 20, 2005 "http://www.solarviews.com/eng/starformation.htm".

Hawley, John F. "Is There Extraterrestrial Life in the Universe?" *John F. Hawley.* University of Virginia. November 23, 2005 "http://www.astro.virginia.edu".

Hazen, Robert M., and Maxine Singer. *Why Aren't Black Holes Black?* New York: Anchor Books, 1997.

Kong, Patricia. "Speed of the Milky Way in Space." *The Physics Factbook.* November 18, 2005 "http://hypertextbook.com/facts".

LaRocco, Chris, and Blair Rothstein. "The Big Bang." *Chris LaRocco and Blair Rothstein Present.* University of Michigan. Nov. 10, 2005 "http://www.umich.edu/".

"Milky Way." *Wikipedia.* November 18, 2005 "http://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way".

Monterey Institute for Research in Astronomy. "Why Do Stars Twinkle?" *MIRA.* February 16, 1999. May 10, 2005 "http://www.mira.org".

NASA. "Discovery of the Cosmic Microwave Background." *WMAP Cosmology 101.* November 21, 2005 "http://map.gsfc.nasa.gov".

———. "The Electromagnetic Spectrum." November 4, 2005 "http://imagers.gsfc.nasa.gov".

———. "How Did the Solar System Form?" *Science@Nasa.* November 28, 2005. December 19, 2005 "http://science.hq.nasa.gov/solar_system/science/formation.html".

. "Nucleosynthesis." *Cosmicopia.* December 21, 2005 "http://helios.gsfc.nasa.gov".

_. "Solar History Timeline." *Solar-B.* September 6, 2006. "http://solarb.msfc.nasa.gov/science/timeline/index.html".

"Observing Across the Spectrum." *Cool Cosmos: Multiwavelength Astronomy.* November 23, 2005 "http://www.coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom".

"The Odds Against ET." *Popular Mechanics.* November 1, 2000. October 10, 2005 "http://www.popularmechanics.com/science/space/1282586.html".

"Odds of Complex Life: Great Debates." *Astrobiology Magazine.* October 19, 2005 "http://www.astrobio.net/news".

"Origins of the Days of the Week." *Aerospaceweb.* October 28, 2005 "http://www.aerospaceweb.org/question/astronomy".

Overbye, Dennis. "The Universe Seems So Simple, Until You Have to Explain It." *New York Times.* October 22, 2002 "www.nytimes.com".

"Physical Environment: Red Giant." December 20, 2005 "http://www.historyoftheuniverse.com/starold.html".

Pine, Ronald C. "Introduction: Our Cosmological Roots." *Science and the Human Prospect.* University of Hawaii. June 23, 2006 "http://www.hcc.hawaii.edu/~pine/book1qts/chapter1qts.htm".

Preuss, Paul. "A Supernova Named Albinoni Is the Oldest and Farthest Ever Found." *Lawrence Berkeley National Lab.* December 17, 1998. November 10, 2005 "http://www.lbl.gov/supernova/albinoni.html".

"Quasars." *Raindrop Laboratories.* November 4, 2005 "http://www.rdrop.com/users/green/school".

"Redshift." *Wikipedia.* November 10, 2005 "http://en.wikipedia.org/wiki/Redshift".

"The Seven-Day Week and the Meaning of the Names of the Days." October 28, 2005 "http://www.crowl.org/Lawrence/time/days.html".

"The Shape of the Milky Way." November 4, 2005 "http://homepage.mac.com/rarendt/Galaxy/mw.html".

Shostak, Seth. “The Holy Grail: Small, Rocky Worlds.” *SETI Institute*. February 2, 2006. February 10, 2006 “http://www.seti.org”.

Singh, Simon. *Big Bang*. New York: HarperCollins, 2004.

Sloan Digital Sky Survey/SkyServer. “The Expanding Universe.” *Astronomy*. November 20, 2005 “http://cas.sdss.org”.

“Stars.” *BBC-H2g2*. November 4, 2005 “www.bbc.co.uk/dna/h2g2”.

“Stellar Nucleosynthesis.” *Lives and Deaths of Stars*. December 1, 2005 “http://www.astronomynotes.com”.

“Sun, the Solar System’s Only Star.” *Astronomy Today*. September 6, 2006 “http://www.astronomytoday.com/astronomy/sun.html”.

“The 305 Meter Radio Telescope.” *National Astronomy and Ionosphere Center Arecibo Observatory*. November 16, 2005 “http://www.naic.edu/public”.

Tully, Brent. “How Big Is the Universe?” *NOVA Online*. University of Hawaii. June 23, 2006 “http://www.pbs.org/wgbh/nova/universe/howbig.html”.

University Corporation for Atmospheric Research. “Solar System Formation.” *Windows to the Universe*. December 19, 2005 “http://www.windows.ucar.edu”.

Webster, Guy. “Howdy, Strangers.” *Jet Propulsion Laboratory*. August 19, 2002. June 24, 2006 “http://www.jpl.nasa.gov/news/features.cfm?feature=555”.

Weinberg, Steven. “Can Science Explain Everything? Anything?” *New York Review of Books*. May 31, 2001. January 31, 2002 “http://www.nybooks.com/articles”.

______. *Dreams of a Final Theory*. New York: Vintage, 1993.

Whittle, Mark. “A Brief History of Matter.” *Prof. Mark Whittle’s Home Page*. University of Virginia Department of Astronomy. September 8, 2006 “http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr124/matter/matter_three.html”.

Yarris, Lynn. “Discovery of Most Distant Supernovas.” *Discovery of Distant Supernovas*. January 16, 1996. Lawrence Berkeley Lab. November 10, 2005 “http://www-supernova.lbl.gov”.

شكر

أعرف أني لست الكاتبة أو الكاتب الوحيد الذي يحدث له في نقطة ما في منتصف عمله في مشروع كتاب رئيسي، أن يكرس أيامًا عديدة لمهمة واحدة عاجلة هي: البحث عن العذر الأمثل للتوقف عن العمل. عذر مقنع — مخجل يتيح لي أن أعيد ما دفع لي من مقدم الأجر، وأعيد معالجة دفاتر الملحوظات، وأعيد تجهيز القرص الصلب للكمبيوتر بدون أن يكون علي أن أهجر عائلتي وأنتقل إلى نيلز في ميتشيجان.

ومع ما مر بي من أوجه الذعر في منتصف الطريق، لم أستطع أن أجد وسيلة لبقةً للتهرب. لم أستطع أن أتحمل أن أخيب أمل ابنتي («كتاب؟ تؤلفين كتابا؟») كما أنني لم أستطع حقًّا أن أتحمل فكرة أن أكون السبب في إهدار وقت عدد كبير هكذا من أناس أذكياء، كرماء، مرهقين بالعمل.

وهكذا فإنني أود أن أشكر أولًا وبكل حرارة جميع العلماء الذين ساهموا في هذا الكتاب. واشكرهم لمعرفتهم العميقة، وتفسيراتهم المحكمة لمفاهيم تروع كل الروع، ولتأملاتهم المحلقة في السماوات الزرقاء وإن كانت دائمًا مدققة، ولمقارناتهم الثرية، ولملاحظاتهم البارعة التعليمية. هذا وقد أجريت لقاءات مع الكثيرين من الباحثين لم تنته إلى التنويه بأسمائهم وإن كانوا قد أعطوا معلوماتهم بالكتابة مثلما بالقلب. من الواضح أن كتاب «القانون» ما كان يمكن أن يوجد من غير حشود

العقول العلمية التي استلبت منها الكثير بحرية وهكذا فإن امتناني لهم لا حدود له.

أدين بشكر خاص للعلماء الذين راجعوا أجزاء من مخطوطة الكتاب قبل الطبع وهم: جاكي بارتون، وبريان جرين، وآلان جوث، وجوهاندلسمان، وكيب هودجز، وجوناثان كوهلر، وجين روبنسون، ودونالاند سادواي، وميج أوري، ودافيد ويك. ولقد صححوا لي المسار في مواضع انحرفت فيها عن الواقع، أو انحرفت منطقيًّا، أو مفاهيميًّا، أو جماليًّا؛ كما اقترحوا بعض إضافات حاسمة وبعض حذف معقول، وجنّبوني عمومًا معاناة ما قد يترتب من نتائج دائمة للجروح العديدة التي تنجم ذاتيًّا.

بالإضافة إلى مدخلاتهم الخبيرة روجعت الحقائق في الكتاب سطرًا بسطر بقدر ما يمكن من إحكام. ومع ذلك لا بد من بقاء بعض العثرات والحماقات، ينبغي أن أُنتقد أنا وحدي عليها.

لا بد لي أيضًا أن أشكر الكثيرين من موظفي العلاقات الصحافية في الجامعات التي زرتها، لمساعدتهم لي في تنظيم وجدولة اللقاءات، وإعادة تنظيم وجدولة اللقاءات، وتهدئة حدة مزاج الأساتذة، عندما يؤخرني لقاء مطول عن ميعاد اللقاء التالي، بل حتى ما يحدث أثناء رحلة عاجلة بوجه خاص، فيرتبون عندها لابنتي الانضمام لمخيم محلي ليوم واحد، لأتمكن من العمل من غير عائق.

أود أن أشكر أيضًا المحررين الذين عملوا معي، أماندا وجين، ووكيلة أعمالي آن، وذلك لمساعدتهن في تجهيز الكتاب في الشكل الملائم، ولما تحلين به من صبر، ولضحكهن من فكاهاتي، ولأنهن جعلنني أقل إحساسًا بالضياع والوحدة. ونظرًا لأن الكتابة تتطلب مساحة من الهدوء والعزلة، فأنا مدينة لبروس مارتن، ومكتبة الكونجرس إذ منحا لي مكتبًا للتأليف حيث وجدت التركيز والهدوء.

أقدم شكري أيضًا إلى دنيس لخبرته الكونية، وإلى نانسي لامتناعها عن أن تسألني: «كيف يسير الحال مع الكتاب؟»

ثم هناك ريك: وستكون محاولتي هنا للتعبير عن امتناني تشبه إلى حد ما أن يقدم مواطنو هيوروت شكرهم للبطل الأسطوري بيوولف،[17] بعد أن قتل لهم إلَهة الانتقام جريندل، بأن يهدوا له بطاقة هدايا من شركة «ستاربكس» للقهوة. ريك كاتب زميل ومحب للعلم، وساهم بما لا يقدر في كل مرحلة من هذا المشروع، وقد أجرى لقاءات مع العلماء وساعد في تشكيل بنية الكتاب وتعيين مواضيعه الرئيسية والفرعية. وهكذا جمع الخيوط، والحبال، وخطوط الحياة. كما أنه ضحى بالليالي، وبالعطلات الأسبوعية، وأيام الإجازات في سبيل المشروع، ولكنه لم يضحِ أبدًا بصرامة حكمه أو نقاء تفكيره، وكان مرة بعد الأخرى يسحق عفاريتي وآلهة انتقامي. وإنه لأمر جيد أني أصنع في البيت قهوة لذيذة.

[17] بيوولف بطل أسطوري اسكندنافي دافع عن أهل «هيوروت» (الغزال الذكر) بأن قتل إلَهة أو عفريتة الانتقام جريندل. (المترجم)

هذا الكتاب هو اختيار محرري نيويورك تايمز بوك ريفيو

واختاره موقع Amazon.com ليكون أفضل كتاب علمي لهذا العام.

في هذا الكتاب الثري، تعيد الكاتبة ناتالي أنجير – التي تحقق أعمالها أفضل المبيعات – القوانين العلمية إلى جوهرها الأساسي، وتقدم ثقافة علمية كاملة ومسلية ومثيرة. وقد قابلت أنجير جمهرة من العلماء وطرحت عليهم هذا السؤال البسيط: «ما الذي تتمنى أن يعرفه الجميع عن مجالك؟» ويقدم هذا الكتاب إجاباتهم، ويأخذ القارئ في نزهة عبر القواعد الأساسية للعالم الرائع من حولنا، ويكشف مدى ارتباطها بحياتنا اليومية. وتثبت أنجير أنها مرشدة ومشجعة وخفيفة الظل وشديدة الالتزام في استكشافها المذهل للعملية العلمية والمفاهيم الأساسية للفيزياء والكيمياء والبيولوجيا التطورية والبيولوجيا الخليوية والجزيئية والجيولوجيا وعلم الفلك. حتى أولئك الذين يكرهون العلم سيجدون أن عاطفتها تنتقل إليهم وهي تجاهد «لتجعل غير المرئي مرئيًّا، والبعيد عن الذهن قريبًا، وغير الواضح مألوفًا.»

«كل جملة تشع خفة ظل وجمال.»

ريتشارد دوكينز، مؤلف The God Delusion

«إن ناتالي أنجير تجعل الكواكب والجسيمات مغرية.»

سيلفيا نصار، مؤلفة A Beautiful Mind

«مقدمة (أو وسيلة لإنعاش الذاكرة) ممتازة ... أتمنى أن يقرأه الجميع، فبإمكانه أن يرفع معدل الذكاء في البلد بأكمله.»

ستيفن بينكر، نيويورك تايمز بوك ريفيو

٤٥٨ صفحة

ISBN 978-977-6263-23-9

كلمة KALIMA

كلمات عربية

المعارف العامة
الفلسفة وعلم النفس
الديانات
العلوم الاجتماعية
اللغات
العلوم الطبيعية والدقيقة / التطبيقية
الفنون والألعاب الرياضية
الأدب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة